

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO

MARIA JULIA DE PAULA

**TESTES ECOTOXICOLÓGICOS DE REJEITO DE MINERAÇÃO EM *Allium*
cepa.**

BAURU

2022

MARIA JULIA DE PAULA

TESTES ECOTOXICOLÓGICOS DE REJEITO DE MINERAÇÃO EM *Allium*
cepa.

Monografia de Iniciação Científica do curso
de Ciências Biológicas do Centro
Universitário Sagrado Coração

Orientador: Prof. Dr. Adriano Evandir
Marchello

Coorientador: Prof. Dra. Rita Luiza
Peruquetti

BAURU

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

P324t	<p>Paula, Maria Julia de</p> <p>Testes ecotoxicológicos de rejeito de mineração em allium cepa / Maria Julia de Paula. -- 2022. 26f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Adriano Evandir Marchello Coorientadora: Prof.^a Dra. Rita Luiza Peruquetti</p> <p>Monografia (Iniciação Científica em Ciências Biológicas) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Brumadinho. 2. Aberrações cromossômicas. 3. Toxicidade morfológica. 4. Allium cepa. I. Marchello, Adriano Evandir. II. Peruquetti, Rita Luiza. III. Título.</p>
-------	--

RESUMO

A ecotoxicologia estuda os efeitos de substâncias químicas sobre os componentes de um ecossistema utilizando métodos de laboratório e/ou de campo. Em janeiro de 2019 na cidade de Brumadinho (MG) ocorreu o rompimento da barragem I da mina Córrego do Feijão, liberando cerca de 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo descrever os efeitos da lama de rejeitos nos cromossomos e morfologia de *Allium cepa* (cebola). Na metodologia das análises cromossômicas o sedimento foi diluído em água destilada (controle negativo) nas proporções de 25% e 50% do volume total da solução, 45 sementes de cebola foram colocadas para germinar em temperatura ambiente em 3 placas de Petri, com 15 sementes cada uma para cada grupo testado. Nas análises morfológicas foram feitas misturas de terra vegetal (controle negativo) com 25% e 50% do rejeito de mineração, para cada bioensaio foram utilizados 10 copos plásticos de 500 ml com 4 sementes de *A. cepa* cada um. Os resultados obtidos em ambas as análises evidenciaram o potencial citotóxico e genotóxico da lama de rejeito, além de mostrarem que a intensidade dos efeitos deletérios segue em função da concentração da lama.

Palavras-chave: Brumadinho. Aberrações cromossômicas. Toxicidade morfológica. *Allium cepa*.

ABSTRACT

Ecotoxicology studies the effects of chemical substances on the components of an ecosystem using laboratory and/or field methods. In January 2019, in the city of Brumadinho (MG), dam I at the Córrego do Feijão mine broke, releasing about 12 million cubic meters of iron ore tailings. Therefore, the present study aimed to describe the effects of tailings sludge on the chromosomes and morphology of *Allium cepa* (onion). In the chromosomal analysis methodology, the sediment was diluted in distilled water (negative control) in the proportions of 25% and 50% of the total volume of the solution, 45 onion seeds were placed to germinate at room temperature in 3 Petri dishes, with 15 seeds each for each tested group. In the morphological analysis, mixtures of vegetal soil (negative control) were made with 25% and 50% of the mining waste, for each bioassay, 10 plastic cups of 500 ml with 4 seeds of *A. cepa* each were used. The results obtained in both analyzes showed the cytotoxic and genotoxic potential of the tailings sludge, in addition to showing that the intensity of the deleterious effects depends on the concentration of the sludge.

Keywords: Brumadinho. Chromosomal aberrations. Morphological toxicity. *Allium cepa*.

SUMÁRIO

No table of contents entries found.

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

O solo é a base para a nossa vida e das outras espécies de animais e vegetais. Além de ser utilizado como matéria-prima para diversas atividades humanas, o solo exerce serviços fundamentais para o ecossistema como, por exemplo, o armazenamento, escoamento e infiltração da água, fornecimento de alimento, servir como habitat para diversos organismos e realizar a ciclagem e o armazenamento de nutrientes (EMBRAPA, 2017).

Um dos componentes presentes no solo tem grande viabilidade econômica, o minério. O minério é um agregado de minerais rico em determinado mineral ou elemento químico que é economicamente e tecnologicamente viável para extração (MARINHO, 2019).

A extração mineral é uma das atividades mais importantes da economia brasileira, sendo o Brasil um dos maiores produtores e exportadores de minérios do mundo. O minério de ferro lidera com 60% do valor total de produção mineral brasileira, e em segundo lugar o ouro, com apenas 5% (ARAUJO; OLIVIERI; FERNANDES, 2014). No entanto, a indústria extrativa mineral está entre as atividades antrópicas que mais causam impactos socioeconômicos e ambientais negativos, principalmente devido aos rejeitos decorrentes dessa atividade (ARAUJO; OLIVIERI; FERNANDES, 2014; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006).

Os rejeitos de mineração são massas de resíduos sem valor econômico misturados à água que são obtidos através da lavra e do beneficiamento do minério (AMBIOS, 2019). A lavra consiste na extração do mineral que é posteriormente submetido ao beneficiamento, processo de separação por granulometria para que o minério se torne comercializável (PEREIRA, 2020). Os subprodutos desses processos têm como destino final a barragem de rejeitos, estruturas que devem atender às exigências de proteção ambiental e de segurança para não ocasionar problemas como, por exemplo, o rompimento da construção (SOARES, 2010).

No dia 25 de janeiro de 2019, o município de Brumadinho, em Minas Gerais, situado dentro do Quadrilátero Ferrífero, área extremamente propícia para extração de minérios de ferro, sofreu com o rompimento da Barragem I da Mina Córrego do Feijão de propriedade da mineradora Vale S. A., destruindo a

vegetação nativa, moradias, estruturas empresariais, recursos hídricos e deixando cerca de 3.485 vítimas atingidas diretamente pela tragédia (PEREIRA, 2020; DAUFENBACH, 2021).

A barragem construída em 1974 permanecia em operação até o desastre no início de 2019, possuindo, em 2006, cerca de 81 metros de altura. A estrutura construída com o método de alteamento a montante, na qual cresce por meio de degraus feitos com o próprio rejeito sobre um dique inicial, continha cerca de 12 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro, possuindo em sua lama materiais particulados finos compostos principalmente por ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn) e outros metais pesados como: urânio (U), cádmio (Cd), chumbo (Pb), arsênio (As), cobre (Cu), níquel (Ni) e mercúrio (Hg) (VERGILIO, 2020; PEREIRA, 2020; ALVARENGA; CAVALLINI, 2019; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020).

Os metais presentes na lama de rejeitos da Mina Córrego do Feijão são elementos que existem naturalmente no meio ambiente em concentrações ideais, a partir do momento em que desastres como o ocorrido em Brumadinho acontecem, elevam a concentração de determinados metais no ecossistema, podendo aumentar seu potencial tóxico e gerando cenários de exposição direta e indireta aos contaminantes presentes na lama de rejeitos tanto no local do evento quanto nas imediações, com efeitos de curto e longo prazos (FREITAS *et al.*, 2019; AMBIO, 2019; DAUFENBACH, 2021).

Diante disso, os testes ecotoxicológicos são instrumentos de grande importância no estudo da contaminação ambiental (PEDUTO; JESUS; KOHATSU, 2019). Utilizando uma ampla variedade de espécies de diferentes níveis tróficos é possível avaliar se determinadas substâncias químicas ou misturas são passíveis de causar danos ao indivíduo exposto (GHOSH *et al.*, 2019; LAPA, 2014). Por isso, os bioensaios utilizando hortaliças são considerados excelentes modelos para monitorar mutagênicos ambientais, pois, além de serem receptores biológicos diretos dos poluentes, possuem baixo custo, seu manuseio é prático e rápido e a sua sensibilidade é razoável na indicação de danos causados por substâncias tóxicas (LAPA, 2014; FERREIRA *et al.*, 2019; PEDRO, 2008).

Sendo as plantas produtores primários, elas desempenham um papel extremamente importante de produzir e de servir como alimento para diversos organismos vivos, garantindo a manutenção dos níveis tróficos e sendo a base para qualquer cadeia alimentar. Em consequência, quando a planta entra em contato com um ambiente contaminado por metais pesados, suas raízes são a zona de contato primário com os poluentes do solo, ela os absorve e acaba transportando essas substâncias para o consumidor primário e assim sucessivamente ao longo da rota alimentar. Os metais pesados não são capazes de serem metabolizados pelo organismo dos seres vivos e acabam se bioacumulando nos tecidos. É por meio dessa incapacidade de metabolização que essas substâncias conseguem perdurar em diferentes níveis tróficos (COSTA, 2020; SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018).

Nos organismos vegetais, assim que absorvidos, os metais podem inativar várias enzimas citoplasmáticas, alterar a estrutura básica da membrana plasmática, inativar ou degradar proteínas e causar efeitos mutagênicos no DNA. Em nível visual, os efeitos tóxicos podem se apresentar na redução do crescimento da planta, incluindo clorose foliar, necrose, perda de turgor e diminuição na taxa de germinação, porém, as repostas das hortaliças devido a exposição a um contaminante variam dependendo das características da espécie vegetal, do elemento químico, assim como as condições ambientais (SOUZA, 2011; DAUFENBACH, 2021; GILL, 2014).

No Brasil, a cebola (*Allium cepa*) se destaca como uma das hortaliças economicamente mais importante, tanto pelo volume produzido, como pela contribuição socioeconômica (MENDES, 2008). O uso de *A. cepa* como material teste foi desenvolvido por Levan em 1938 e adaptado para análises de monitoramento ambiental por Fiskesjö em 1985, a partir disso, o sistema teste de *A. cepa* vem sendo utilizado para avaliar e classificar a toxicidade dos químicos presentes em ecossistemas aquáticos e terrestres (FERREIRA et al, 2019; MARTINS, 2020; DAUFENBACH, 2021) por apresentar rápida germinação, baixo custo, grande número de células em divisão, número reduzido de cromossomos ($2n=16$) com tamanho grande e que são facilmente corados e observados, além de apresentar boa correlação com sistema teste de mamíferos e a possibilidade da utilização de bulbos e/ou sementes, neste último é possível

avaliar parâmetros microscópicos, como índice mitótico e anormalidades nas divisões celulares, e macroscópicos, como crescimento e massa da raiz e taxa de germinação (FERREIRA et al., 2019; SANTOS, 2016; MASCHIO, 2009; DAUFENBACH, 2021). Durante o período de germinação, as sementes são sensíveis ao estresse ambiental, que podem influenciar os primeiros estágios de desenvolvimento do organismo teste (LAPA, 2014).

No estudo de DAUFENBACH (2021), foram realizados bioensaios para avaliar a toxicidade de amostras sintéticas de cromo, mercúrio e uma solução composta com os dois metais em sementes de *Allium cepa*. As concentrações foram selecionadas com base em dados e relatórios da qualidade da água do rio Paraopeba logo após o desastre de Brumadinho. Como resultado, os metais diminuíram a taxa de germinação das sementes, interferiram no ciclo celular e induziram aberrações cromossômicas, principalmente a solução composta com ambos os metais, indicando efeito sinérgico.

Em outro estudo realizado por ABUBACKER e SATHYA (2017), foram feitos testes com cromo, cobre, chumbo e zinco para analisar os efeitos citotóxicos nas divisões celulares mitóticas da raiz de cebola (*Allium cepa*), no que resultou em anormalidades cromossômicas, como por exemplo: perda e quebra de cromossomos, multipolaridade, poliploidia e ponte cromossômica.

Pouca atenção é dada à ecotoxicologia de sedimentos e solos e trabalhos que auxiliem no entendimento dos mecanismos de ação dos poluentes ambientais são de extrema importância para a toxicologia ambiental (MATOS, 2019; SILVEIRA et al., 2017). Desse modo, esta pesquisa tem por motivação apresentar dados a fim de informar os riscos do uso do solo contaminado pelo rejeito, tendo como objetivo a análise dos possíveis efeitos tóxicos da lama em cebola (*Allium cepa*), descrevendo seus efeitos morfológicos e cromossômicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

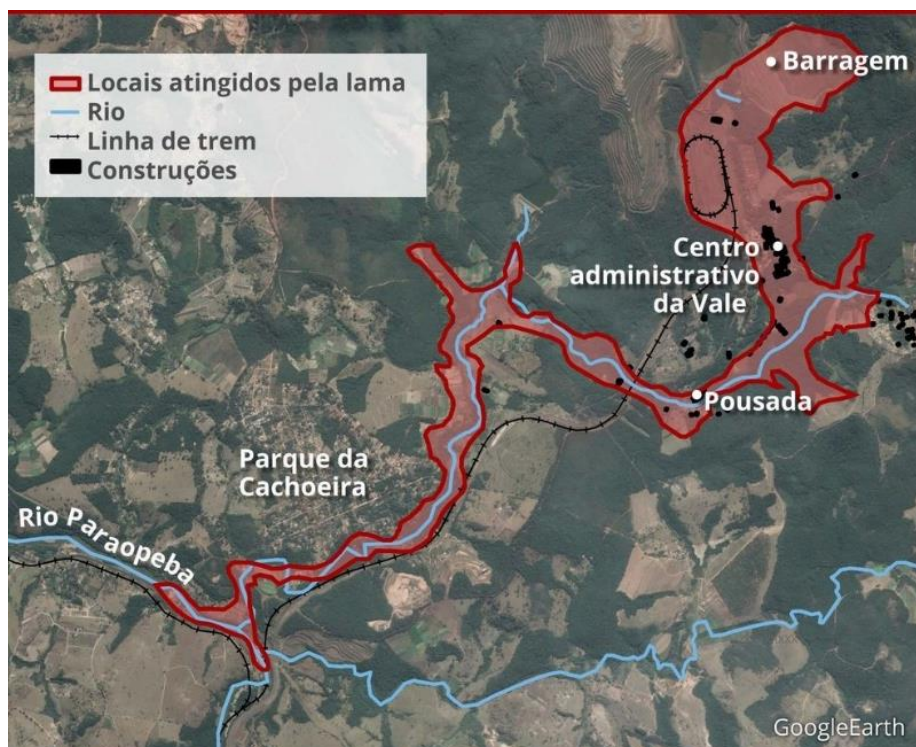
O rejeito de mineração usado para este estudo foi coletado na cidade de Brumadinho no estado de Minas Gerais em fevereiro de 2019 e mantido congelado (Figura 1). Brumadinho é uma das maiores cidades da Região Metropolitana em área, contando com cerca de 639,43 km² e população estimada de 40.666 habitantes (53,13 hab./km²). O rompimento da Barragem I da Mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho, espalhou cerca de 12 milhões de metros cúbicos por mais de 46 km (Figura 2).

Figura 1 – Localização da cidade de Brumadinho, MG.



Fonte: <https://noticias.r7.com/>

Figura 2 – Área atingida pela lama de rejeitos.



Fonte: <https://g1.globo.com/>

2.2 COLETA

Foram coletados cerca de 10 kg de amostra de sedimento da Mina do Córrego do Feijão em área próxima às margens do rio Paraopeba logo após o rompimento da barragem. O material foi coletado com o auxílio de pá de plástico e luvas, a amostra foi transferida para sacos plásticos, armazenada e transportada em caixa térmica com gelo até o laboratório, no qual foi mantida em freezer a 4°C.

2.3 DESIGN EXPERIMENTAL

2.3.1 ANÁLISE CROMOSSÔMICA

O sedimento foi diluído em água destilada nas proporções de 25% e 50% do volume total da solução. As sementes de *Allium cepa* foram adquiridas comercialmente.

Para cada solução teste, duas concentrações diferentes do sedimento e água destilada (controle negativo), 45 sementes de cebola foram submetidas à

germinação em temperatura ambiente. Foram utilizadas 3 placas de Petri forradas com papel toalha com 15 sementes cada uma.

Após a germinação, quando as raízes atingiram cerca 1,5 cm de comprimento (7 dias), elas foram coletadas e fixadas em Carnoy 3:1 (3 partes de etanol para 1 de ácido acético – v:v) por 48 horas.

Para o preparo das lâminas, 18 radículas da solução fixadora de cada bioensaio foram selecionadas aleatoriamente e submetidas a uma hidrólise ácida em HCl 1N por cerca de 15 minutos e coradas com uma solução de hematoxilina de 5 a 10 minutos. Após, foram preparadas 3 lâminas para cada tratamento com 2 raízes cada uma. O material foi fragmentado com o auxílio de um estilete, recoberto com lamínula e submetido a técnica de esmagamento, sendo feita, por fim, a selagem das laterais da lamínula.

Para a visualização das células meristemáticas da raiz de cebola, as lâminas foram vistas em microscopia óptica em aumento de 400x, sendo analisadas 100 células por lâmina em interfase e em divisão (prófase, metáfase, anáfase e telófase). Foram considerados efeitos genotóxicos para a contagem das aberrações cromossômicas (perda, quebra e ponte cromossômica, c-metáfases e células binucleadas), efeitos mutagênicos para micronúcleos e efeitos citotóxicos com base na análise do índice mitótico calculado com a seguinte fórmula: $IM = \left(\frac{\text{n.º de células em divisão}}{\text{n.º total de células observadas}} \right) \times 100$

2.3.2 ANÁLISE MORFOLÓGICA

Foram feitas misturas de terra vegetal (controle negativo) com 25% e 50% do rejeito de mineração. Para cada bioensaio foram utilizados 10 copos plásticos de 500 ml com 4 sementes de *Allium cepa* incubadas em aproximadamente 2 cm de profundidade.

As sementes permaneceram germinando por aproximadamente 70 dias, sendo irrigadas uma vez ao dia no período da manhã e passando por um fotoperíodo de aproximadamente 10 horas.

Para se analisar uma plântula por tratamento, após a emergência do cotilédone em forma de gancho, foi necessário realizar o desbaste para se obter o número de amostras desejado em cada tratamento.

O tempo de germinação, tamanho do eixo caulinar e número de folhas foram quantificados e seus resultados foram dispostos em tabelas e gráficos de forma a comparar os valores obtidos de cada solução teste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE CROMOSSÔMICA

Os dados obtidos nas análises das lâminas presentes na Tabela 1 e Figura 3 mostram a contagem das células em cada solução teste. O número de células em interfase cresceu proporcionalmente conforme se aumentou a concentração do sedimento, as células em prófase se apresentaram em baixas quantidades em ambas concentrações do sedimento comparadas ao controle. Células em metáfase, anáfase e telófase do controle negativo também apresentaram contagem superior em relação aos testes de 25% e 50% da concentração do sedimento.

Na Tabela 1 também é possível observar os valores do índice mitótico (IM) de cada solução teste. O IM avalia a influência de uma substância na inibição ou indução de divisões celulares. IM menor do que o controle indicam que o organismo exposto ao composto testado tem seu crescimento e desenvolvimento comprometidos com a inibição das mitoses, por outro lado, um IM maior do que o controle tem efeito tóxico capaz de promover proliferação anormal das células, ou seja, induzir mitoses (MASCHIO, 2019; PARVAN *et al*, 2020).

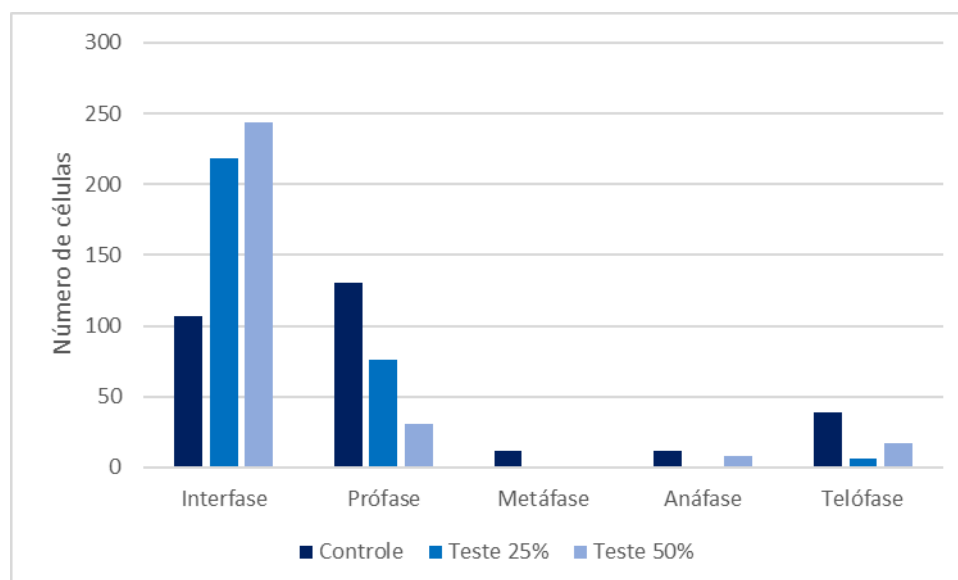
O baixo IM calculado para os testes de 25% e 50% da concentração do sedimento evidenciam parâmetros indicativos de citotoxicidade. Comparado ao controle, a presença do sedimento, mesmo em baixa concentração, levou a uma inibição das mitoses, dados que podem ser observados pelo número de células em interfase nesses grupos na Tabela 1.

Tabela 1. Contagem de células e IM de cada solução teste

	Tratamentos		
	Controle	Teste 25%	Teste 50%
Total de células	300	300	300
Interfase	107	218	244
Prófase	130	76	31
Metáfase	12	0	0
Anáfase	12	0	8
Telófase	39	6	17
Índice Mitótico	64%	27%	18%

Fonte: elaborada pela autora

Figura 3. Contagem de células em cada solução teste



Fonte: elaborada pela autora

Entre as células analisadas de cada bioensaio foram contabilizadas as aberrações cromossômicas, como apresentado na Tabela 2. Apenas o teste de 50% apresentou alterações cromossômicas, como uma ponte cromossômica na anáfase, contagem não estatisticamente significativa, e várias células binucleadas, além de exibir proliferação de microrganismos no citoplasma de diversas células (Figura 5B) – não sendo integrada como uma aberração cromossômica, mas sim, como citotoxicidade.

Segundo MENDES (2008) e MAZIVIERO (2011), o aparecimento de células multinucleadas pode ser resultado de falhas na citocinese durante a mitose e desenvolvimento incompleto de microtúbulos.

De acordo com SILVA *et al* (2022), após o rompimento da barragem em Brumadinho foi observado um aumento de microrganismos nos ambientes afetados pelo rejeito, principalmente colônias bacterianas tolerantes ao ferro (Fe), o que se correlaciona com os resultados obtidos e mostrados na Figura 3B com a presença de organismos microbianos no citoplasma das células.

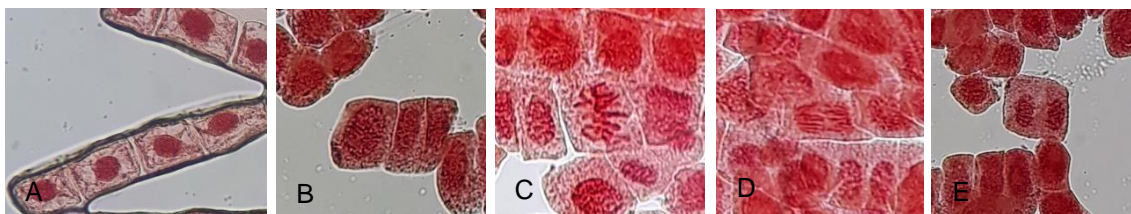
Tabela 2. Contagem de células em cada solução teste

Aberrações	Tratamentos		
	Controle	Teste 25%	Teste 50%
Micronúcleo	0	0	0
Célula binucleada	0	0	63
Ponte cromossômica	0	0	1
Perda cromossômica	0	0	0
Quebra cromossômica	0	0	0
C-metáfase	0	0	0

Fonte: elaborada pela autora

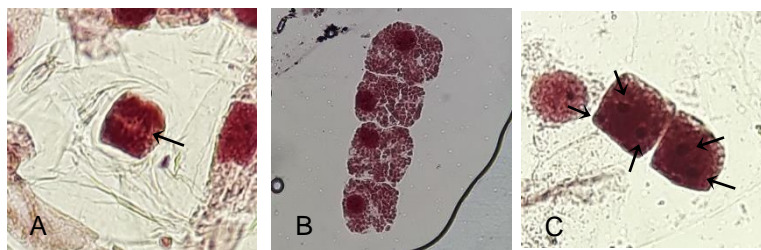
A Figura 4 mostra a interfase e as divisões celulares de aspecto normal encontradas nas lâminas da solução controle. Logo abaixo, na Figura 5, há exemplos de células meristemáticas binucleadas e trinucleadas (genotoxicidade) encontradas no teste de 50% da concentração do rejeito, além de células com proliferação de microrganismos (citotoxicidade) e uma anáfase com ponte cromossômica.

Figura 4. Células normais em interfase e em divisão do controle negativo. A - Interfase; B - Prófase; C - Metáfase; D - Anáfase; E - Telófase.



Fonte: elaborada pela autora

Figura 5. Células anormais presentes no teste de 50%. A – Anáfase com ponte cromossômica; B – Células com proliferação de microrganismos; C – Célula binucleada e trinucleada.



Fonte: elaborada pela autora

No estudo de MENDES (2008) elementos-traço como Cd (0,5 a 9 mg/L), As (2,5 a 20 mg/L), Pb (50 a 300 mg/L), Cr (50 a 300 mg/L) e mercúrio (0,25 a 2,5 mg/L) foram testados em *Allium cepa* e *Lactuca sativa* (alface). Foi observado em *L. sativa* efeito tóxico como baixa germinação e baixo IM, além da indução de aberrações cromossômicas nas células meristemáticas em *A. cepa*, que aumentaram em função das concentrações testadas.

CORREIA *et al* (2008) testaram o Cd (0,007 mg/L e 0,017 mg/L) em *A. cepa*, mostrando seu efeito genotóxico com aberrações cromossômicas (pontes, quebras e perdas cromossômicas) e aumento no número de células de 2 a 4 nucléolos, principalmente na maior concentração testada.

3.2 ANÁLISE MORFOLÓGICA

A germinação de sementes sofre influência de fatores externos como a temperatura, água, luz, oxigênio e CO₂, que podem interferir na velocidade de absorção de água e nutrientes. O substrato também tem grande influência no processo germinativo, pois fatores como estrutura, aeração e capacidade de retenção de água, podem favorecer ou prejudicar a germinação (REGO, 2015; ROSSETTI *et al*, 2019).

Os dados obtidos nas análises morfológicas apresentados na Tabela 3 e Figura 6 mostram o tempo de germinação de cada amostra testada. É possível observar que, seguindo o valor da média, o tempo de germinação tendeu a diminuir conforme se aumentou a concentração do sedimento em aproximadamente 1 dia.

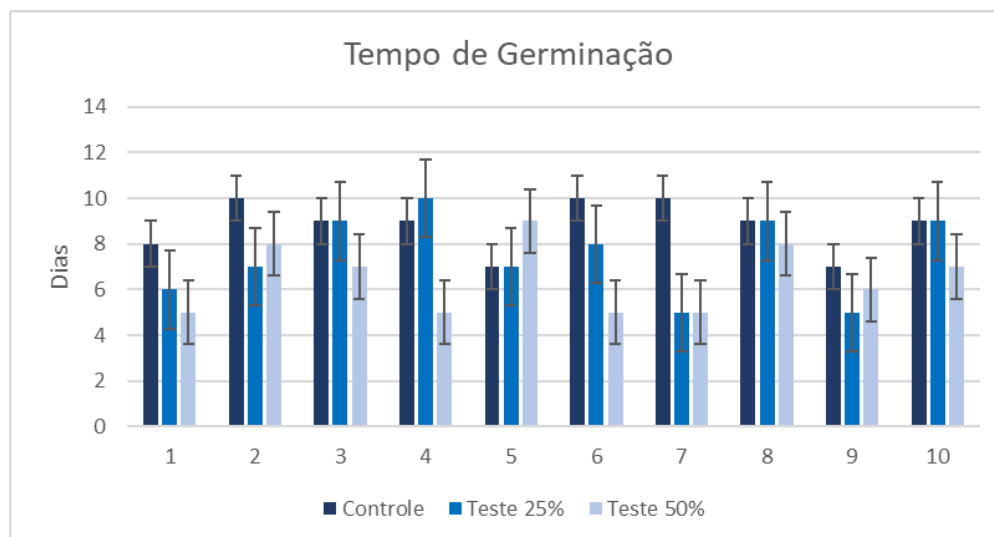
MENDES (2008) testou concentrações de cromo (50 a 300 mg. L⁻¹) e mercúrio (0,25 a 2,5 mg. L⁻¹) em *Allium cepa* e relatou que ambos causaram inibição da germinação conforme as concentrações aumentavam.

Tabela 3. Tempo de germinação das diferentes concentrações do rejeito e controle.

TEMPO DE GERMINAÇÃO (dias)			
Amostra	Controle	Teste 25%	Teste 50%
1	8	6	5
2	10	7	8
3	9	9	7
4	9	10	5
5	7	7	9
6	10	8	5
7	10	5	5
8	9	9	8
9	7	5	6
10	9	9	7
Média	8,8	7,5	6,5
Desvio Padrão	1,1	1,7	1,4

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 6. Tempo de germinação das diferentes concentrações do rejeito e controle.



Fonte: Elaborada pela autora

Para a análise do tamanho do eixo caulinar, cada plântula foi medida do meristema radicular até o meristema apical. As mudanças no crescimento vegetal são frequentemente as primeiras e mais óbvias reações das plantas sob

estresse (HAGEMeyer, 2004), o que pode ser observado pelos resultados apresentados na Tabela 4 e Figura 7 do tamanho do eixo caulinar das plântulas de cebola. O tamanho do eixo do bioensaio controle e de concentração 25% apresentaram resultados parecidos, com uma média de aproximadamente 9 cm, ao contrário da maior concentração (50%) que obteve uma média de aproximadamente 5 cm de comprimento.

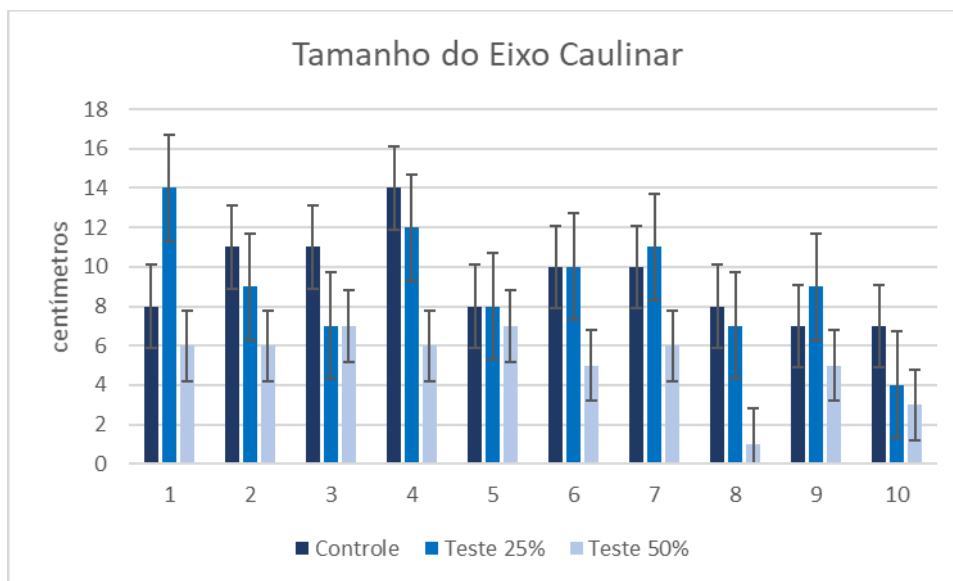
CHIBUIKE e OBIORA (2014) relatam que metais como Pb, Cd, Hg e As não desempenham nenhum papel benéfico no crescimento das plantas, sendo que, efeitos adversos são encontrados em concentrações muito baixas desses metais no meio de crescimento. LERDA (1992), apresentou os efeitos do chumbo em *A. cepa* que foi testado em concentrações de 0,1 a 200 ppm, como resultado, observou-se que o chumbo reduziu o crescimento radicular e a frequência de células mitóticas nas zonas meristemáticas, sendo a intensidade dos efeitos em função da concentração do Pb. Em outro estudo realizado por HUSSAIN *et al* (2013) com *Zea mays* (milho), o chumbo foi testado nas concentrações de 1 a 500 mM, foi evidenciado um retardo de crescimento da plântula, como redução na germinação, no crescimento inicial da plântula e no comprimento da parte aérea, sendo que todos esses parâmetros foram reduzidos pelo aumento das concentrações de chumbo.

Tabela 4. Tamanho do eixo caulinar das diferentes concentrações do rejeito e controle

TAMANHO DO EIXO CAULINAR (cm)			
Amostra	Controle	Teste 25%	Teste 50%
1	8	14	6
2	11	9	6
3	11	7	7
4	14	12	6
5	8	8	7
6	10	10	5
7	10	11	6
8	8	7	1
9	7	9	5
10	7	4	3
Média	9,4	9,1	5,2
Desvio Padrão	2,1	2,7	1,8

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 7. Tamanho do eixo caulinar das diferentes concentrações do rejeito e controle



Fonte: Elaborada pela autora

O número de folhas no controle e teste de 25% permaneceram com uma média de aproximadamente 2 folhas por plântula. Na concentração de 50% houve maior variação nas quantidades (Tabela 5 e Figura 8).

Tanto o número de folhas quanto o tamanho do eixo caulinar mostram a interferência da presença do rejeito no crescimento e desenvolvimento da plântula, principalmente na maior concentração testada (50%), o que confirma os resultados presentes no IM mostrado anteriormente.

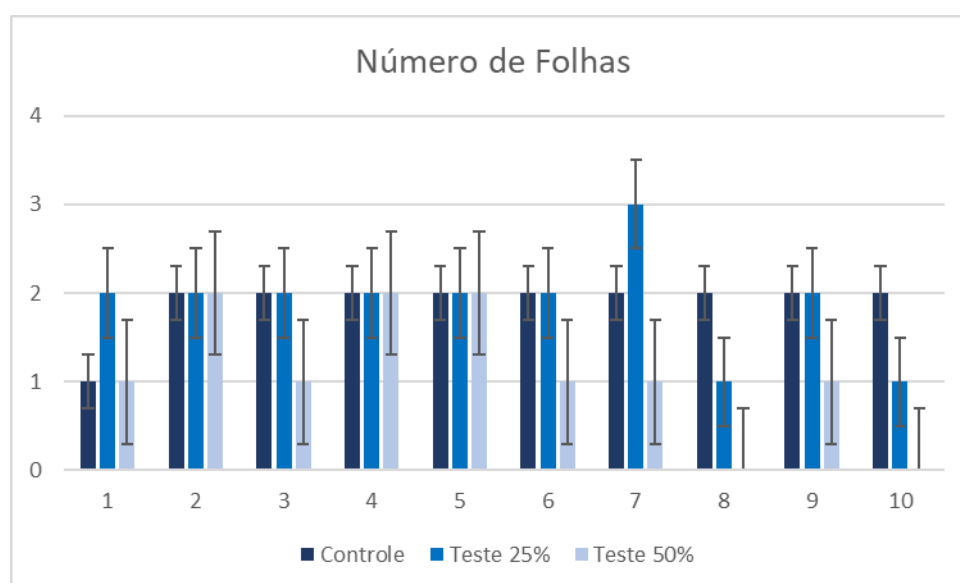
No trabalho de GEREMIAS (2010), o cobre foi testado em *A. cepa* em concentrações de 0 a 10 $\mu\text{g/mL}$. O cobre causou inibição do alongamento radicular com efeito crescente nas doses mais altas, sendo a ausência total de tecido recém-formado na maior concentração testada.

Tabela 5. Número de folhas das diferentes concentrações do rejeito e controle

NÚMERO DE FOLHAS			
Amostra	Controle	Teste 25%	Teste 50%
1	1	2	1
2	2	2	2
3	2	2	1
4	2	2	2
5	2	2	2
6	2	2	1
7	2	3	1
8	2	1	0
9	2	2	1
10	2	1	0
Média	1,9	1,9	1,1
Desvio Padrão	0,3	0,5	0,7

Fonte: Elaborada pela autora

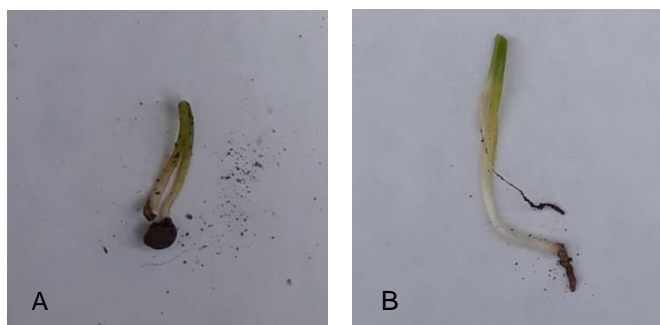
Figura 8. Número de folhas das diferentes concentrações do rejeito e controle



Fonte: Elaborada pela autora

As amostras 8 e 10 do bioensaio de 50% neste estudo não desenvolveram folhas verdadeiras. A amostra 8 permaneceu em estado de gancho e ainda ligada à semente. A amostra 10 também se manteve no estágio de gancho, porém, sem conexão com a semente e com uma pequena protrusão da radícula como mostrado na Figura 9.

Figura 9. A - Amostra 8 do teste de 50% da concentração de rejeito; B - Amostra 10 do teste de 50% da concentração de rejeito.



Fonte: Elaborada pela autora

Na literatura há muitos estudos ecotoxicológicos envolvendo citotoxicidade, genotoxicidade e mutagênese com organismos vegetais, principalmente com a espécie *Allium cepa*, o número de estudos avaliando a morfologia vegetal frente a compostos tóxicos são pequenos. Dada a importância de que o rejeito é formado por uma mistura de diversos tipos de metais e que não há na literatura estudos feitos diretamente com a lama de rejeitos de Brumadinho, a bibliografia consultada leva em consideração alguns dos metais que foram encontrados nessa lama.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação das análises macroscópicas e microscópicas são ferramentas importantes para determinar efeitos tóxicos de poluentes ambientais e, conforme a bibliografia consultada e os resultados obtidos no presente trabalho, o rejeito de mineração de Brumadinho possui potencial citotóxico e genotóxico em *Allium cepa*. Os resultados mostram que a intensidade dos efeitos deletérios é causada em função da concentração da lama de rejeitos.

Tendo em vista que testes ecotoxicológicos com solo são bastante escassos e o rompimento da barragem de Brumadinho ainda é um evento recente, a abordagem deste trabalho poderá contribuir para a população sobre os potenciais riscos do contato com a lama de rejeitos, mostrando também a importância de mais estudos ecotoxicológicos com solo e diferentes espécies vegetais.

REFERÊNCIAS

ABUBACKER, M.N; SATHYA, C. Genotoxic Effect of Heavy Metals Cr, Pb and Zn using *Allium cepa* L. **Bioscience Biotechnology Research Asia**, Vol. 14, 3, p. 1181-1186, set, 2017. Disponível em: <http://www.biotech-asia.org/vol14no3/genotoxic-effect-of-heavy-metals-cr-cu-pb-and-zn-using-allium-cepa-l/>. Acesso em: 05/01/2021

ALVARENGA, Darlan; CAVALINI, Marta. Entenda como funciona a barragem da Vale que se rompeu em Brumadinho. **Portal G1**. 28, jan. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/28/entenda-como-funciona-a-barragem-da-vale-que-se-rompeu-em-brumadinho.ghtml>. Acesso em: 22/11/2020.

AMBIOS. **Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão – MG**: Relatório técnico. São Paulo; 2019

ARAÚJO, E. R.; OLIVIERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C. **Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente**. In: Recursos minerais e sociedade: impactos humanos - socioambientais - econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014

CHIBUIKE, G. U; OBIORA, S. C. Heavy metal polluted soils: effect on plants and bioremediation methods. **Environmental Soil Science**, vol. 2014. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/aess/2014/752708/>. Acesso em: 01/09/2022.

CORREIA, T.F.V.B.C et al. Detecção de mutagenicidade do cádmio (Cd) em diferentes concentrações no organismo teste *Allium cepa*. 2008. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/1525/1415>. Acesso em: 01/09/2022.

COSTA, Letícia Soto da. **Bioacumulação de metais pesados em pequenos mamíferos em áreas remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar na Paraíba, Brasil**. Orientador: Dr. Pedro Cordeiro Estrela de Andrade Pinto. 2020. 68 f. TCC (Graduação) – Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

EMBRAPA. **O solo é vivo e responsável pelos serviços ecossistêmicos necessários à vida**. Brasília, 09, jun. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23945400/o-solo-e-vivo-e-responsavel-pelos-servicos-ecossistemicos-necessarios-a-vida>. Acesso em: 08/12/2020.

FREITAS, Carlos Machado de et al. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 5, p. 1-7, 2019.

GEREMIAS, Reginaldo et al. Bioaccumulation and toxic effects of copper in common onion *Allium cepa* L. **Chemistry and Ecology**, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02757540903468144>. Acesso em: 01/09/2022.

HAGEMeyer, J. Ecophysiology of plant growth under heavy metal stress. In: Prasad, M.N.V. (eds) Heavy metal stress in plants. **Springer**, Berlin. 2004. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-07743-6_8#citeas. Acesso em: 01/09/2022.

HUSSAIN, Abrar et al. Effects of diverse doses of lead (Pb) on diferente growth attributes of *Zea-Mays* L. *Agricultural Sciences*, 2013. Disponível em: https://www.scirp.org/html/8-3000340_32311.htm. Acesso em: 01/09/2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama de Brumadinho. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/brumadinho/panorama>. Acesso em: 17/01/2021.

LAPA, Mariel Penha. **Avaliação ecotoxicológica de solos impactados com borra oleosa submetidos a diferentes tratamentos de biorremediação**. Orientadora: Dra. Vanessa Sacramento Cerqueira. 2014. 62 f. TCC (Graduação) – Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

LERDA, D. The effect of leas on *Allium cepa* L. **Mutation Research Letters**. v. 281, ed. 2, 1992, pg. 89-92. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016579929290041F>. Acesso em: 01/09/2022.

MARINHO, Gabriella. O que é minério? **Minas Jr**, Belo Horizonte, 07, nov. 2019. Disponível em: <https://www.minasjr.com.br/o-que-e-minerio/>. Acesso em: 08/12/2020.

MARTINS, Gabriel Antoniassi. **Avaliação do potencial citotóxico e mutagênico das águas do Rio Batalha localizado no município de Bauru**. Orientadora: Dra. Rita Luiza Peruquetti. 2020. TCC (Graduação) – Bacharel em Ciências Biológicas, Centro Universitário do Sagrado Coração, Bauru, 2020.

MASCHIO, Lucilene Regina. **Avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico das águas do Rio Preto na área de influência da região de São José do Rio Preto/SP**. Orientadora: Dra. Maria Aparecida Marin-Morales. 2009. Tese (Pós-Graduação) – Genética, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Paulista, São José do Rio Preto, 2009.

MATOS, Mariana de Freitas. **A ecotoxicologia como ferramenta para o monitoramento e perícia ambiental em áreas de mineração**. Orientadora: Dra. Arnola Cecília Rietzler. 2019. 115 f. Tese (Doutorado) - Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

MAZIVIERO, Guilherme Thiago. **Avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de lodo de esgoto por meio do sistemas-teste *Allium cepa* e *Trandescantia pallida***. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Rio Claro, 2011.

Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde. Um ano do desastre da Vale: Organização e resposta do Ministério da Saúde. **Boletim Epidemiológico**. Jan, 2020. Disponível em: <http://www.saude.gov.br/boletins-epidemiologicos>. Acesso em: 22/11/2020

MOSELA, Izaela. **Bioprospecção de fungos em lama de rejeito de mineração**. Orientador: Dr. Adriano Evandir Marchello. 2019. TCC (Graduação) – Bacharel em Ciências Biológicas, Centro Universitário do Sagrado Coração, Bauru, 2019.

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.

SILVA, Cristiane Aparecida da. **Efeitos da lama de rejeitos de mineração na macrófita aquática *Pistia stratiotes* – caso de Brumadinho, MG**. Orientador: Dr. Adriano Evandir Marchello. 2019. TCC (Graduação) – Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário do Sagrado Coração, Bauru, 2019.

SILVA, Fabio Leandro da. Relações entre saúde e ambiente: potenciais impactos decorrentes do rompimento de barragens de rejeitos – uma revisão da literatura nos casos de Mariana e Brumadinho, MG. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 59, p. 94-109, jan/jun. 2022.

SILVEIRA, Graciele Lurdes et al. Toxic effects of environmental pollutants: Comparative investigation using *Allium cepa* L. and *Lactuca sativa* L. **ELSEVIER**, v. 178, p. 359-367, jul, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517304113#bib21>. Acesso em: 01/12/2020.

SOARES, Lindolfo. Barragem de rejeitos. *In*: LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.p. 831-901.

SOUZA, Ana Kely Rufino; MORASSUTI, Claudio Yamamoto; DEUS, Batista de. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **ACTA Biomédica Brasiliensia**. Dourados, v. 9, n. 3, p. 95-107, dez, 2018.

MENDES, Maribel da Silva. **Elementos-traço em *Allium cepa* e *Lactuca sativa* L.** Orientador: Dr. Carlos Rogério Mauch. 2008. Tese (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

SANTOS, Simone Cristina dos. **Caracterização e ranqueamento de cultivares de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) e *Allium cepa* (Alliaceae) na padronização**

de bioensaios para fitotoxicidade. Orientador: Dr. Sandro Barbosa. 2016. Dissertação (Mestrado) – Ciências Ambientais, Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, 2016.

FERREIRA, F. F. F. C. et al. Utilização de *Allium cepa* como bioindicador na avaliação de citotoxicidade do solo e da água em um ponto de descarte inadequado de resíduo sólidos no distrito de Nova Almeida, Serra-ES. **Esfera Acadêmica Tecnologia**, v. 4, n. 1, 2019.

PARVAN, Lais Gonçalves et al. Bioensaio com *Allium cepa* revela genotoxicidade de herbicida com flumioxazina. **Ver Pan-Amaz Saude**, Ananindeua, v. 11, 2020. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2176-62232020000100018. Acesso em: 01/09/2022.

PEDRO, Janaína. Detecção da toxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade do inseticida Fipronil no organismo teste *Allium cepa*. Orientadora: Dra. Maria Aparecida Marin-Morales. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

PEDUTO, Thais de Araujo Goya; JESUS, Tatiane Araújo de; KOHATSU, Marcio Yukihiro. Sensibilidade de diferentes sementes em ensaio de fitotoxicidade. **Bras. Cien, Tec. e Inov.**, v. 4, n. 2, p. 200-212, set, 2019

RÊGO, Maydara Thaylla Cavalcanti et al. Germinação de sementes de cebola em ambiente enriquecido com dióxido de carbono. 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1031875/1/Maydara.pdf>. Acesso em: 01/09/2022

ROSSETTI, Cristina et al. Condições de substrato e temperatura para condução do teste de germinação de sementes de *Allium cepa* L. e *Allium fitulosum* L. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 17042-17048 sep. 2019.

VERGILIO, Cristiane dos Santos et al. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Sci. Rep.** Abr. 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7125165/>. Acesso em: 02/01/2022.

GILL, Mukti. Heavy metals stress in plants: a review. **International Journal of Advanced Research**, volume 2, p. 1043-1055, jun, 2014. Disponível em: <https://www.journalijar.com/article/2142/heavy-metal-stress-in-plants:-a-review/>. Acesso em: 02/01/2022

DAUFENBACH, Vanessa. **Toxicidade de cromo e mercúrio sobre *Allium cepa* L. em concentrações observadas após o rompimento da barragem, de Brumadinho.** Orientador: Elton Celton de Oliveira. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2021.

PEREIRA, C. C. Caracterização geotécnica e geoquímica dos rejeitos da barragem da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG), em decorrência do

desastre de 25/01/2019. Disponível em: <https://www.prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2020P17419A28108O492.pdf>. Acesso em: 03/01/2022.