

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Jamille Braga Malvino

**PRESENÇA DE MERCÚRIO EM VEGETAIS COMESTÍVEIS  
PRODUZIDOS PRÓXIMOS A MINERAÇÃO ARTESANAL EM  
PEQUENA ESCALA DE OURO**

**SINOP  
MATO GROSSO - BRASIL  
2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Jamille Braga Malvino

**PRESENÇA DE MERCÚRIO EM VEGETAIS COMESTÍVEIS  
PRODUZIDOS PRÓXIMOS A MINERAÇÃO ARTESANAL EM  
PEQUENA ESCALA DE OURO**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lopes Tortorela de Andrade  
Co-orientador: Prof. Dr. Leandro Dênis Battirola

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, na área de concentração Biodiversidade e Bioprospecção, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de pesquisa: Produtos Naturais.

**SINOP  
MATO GROSSO - BRASIL  
2022**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

M262p Malvino, Jamille Braga.  
Presença de mercurio em vegetais comestíveis produzidos proximos a mineracao artesanal em pequena escala de ouro / Jamille Braga Malvino. -- 2022  
55 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Ricardo Lopes Tortorela de Andrade.  
Co-orientador: Leandro Dênis Battirola.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop, 2022.  
Inclui bibliografia.

1. Metal traço. 2. Bioindicador. 3. Bioconcentração. 4. Agricultura familiar. 5. Quociente de risco. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "Presença de mercúrio em vegetais comestíveis produzidos próximos a mineração artesanal em pequena escala de ouro"**

AUTOR (A): MESTRANDO (A) Mestranda Jamille Braga Malvino

Dissertação defendida e aprovada em 25/03/2022.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

Presidente Banca / Orientador Doutor(a) Ricardo Lopes Tortorela de Andrade  
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Externo Doutor(a) Maria Inês Cruzeiro Moreno  
Instituição : Universidade Federal de Catalão – UFCAT

Examinador Externo Doutor(a) Sandro Estevan Moron  
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS (UFT)

Examinador Suplente Doutor(a) Gabriela Cristina Rabello Casagrande  
Instituição : UNEMAT - Universidade do Estado de Mato Grosso

Examinador Suplente Doutor(a) LARISSA CAVALHEIRO DA SILVA  
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

SINOP, 25/03/2022.



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO LOPES TORTORELA DE ANDRADE, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 25/03/2022, às 18:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Inês Cruzeiro Moreno, Usuário Externo**, em 28/03/2022, às 14:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sandro Estevan Moron, Usuário Externo**, em 13/05/2022, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4542636** e o código CRC **11CA4DDB**.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família. Para minha filha Laura, por me motivar a ser melhor todos dias, mesmo apenas com um sorriso. Para Weverson, meu esposo por todo cuidado, paciência e auxílio.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Mato Grosso e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e seus professores, pelas oportunidades e conhecimentos passados no decorrer do programa.

Agradecimento, em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo L. Tortorela de Andrade, pela paciência, compreensão, carinho, puxões de orelha, por me aturar (doutorado tem mais Jamille por aí) e por todos os ensinamentos compartilhados no decorrer do mestrado.

Agradeço ao meu co-orientador, Prof. Dr. Leandro Dênis Battirola, a quem chamo carinhosamente de “coleguinha”, por todos os ensinamentos no decorrer do programa.

Agradeço aos meus amigos do grupo de pesquisa, Gabriela, Evandro e Laura, por todo companheirismo e auxílio no Laboratório Integrado de Pesquisas em Químicas (LIPEQ).

Agradeço ao meu esposo Weverson e minha filha Laura, por estarem comigo em todos os momentos, desde as coletas até as noites rodadas em laboratório. Obrigada pelo apoio incondicional.

Agradeço aos meus pais, Luzimar e José Malvino, por todo empenho em busca de uma educação de qualidade e pelo empenho em exercer o papel de educadores, constante e incessantemente. Obrigada por me ensinarem a excelência.

Agradeço a Vovó Rosimeire, que se dedica a minha filha Laura, a quem posso confiar meu mais precioso tesouro quando os dias requerem mais da Jamille pesquisadora e preciso dividir os cargos destinados a mamãe Jamille. Sem esse apoio nada seria possível.

Por fim, agradeço a Deus, pela força e pela oportunidade de estar aqui realizando essa pesquisa.

**EPIGRAFE**

*“Jamais considere seus estudos como uma obrigação,  
mas como uma oportunidade invejável para aprender  
a conhecer a influência libertadora da beleza do  
reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e  
para proveito da comunidade à qual seu futuro  
trabalho pertencer.” Albert Einstein.*

## RESUMO

O mercúrio (Hg) é um dos poluentes mais prejudiciais ao ambiente, e pode apresentar teores tóxicos na água, no solo ou na atmosfera. É reconhecido como uma preocupação global, sobretudo, por suas liberações em áreas de mineração de ouro. Nessas áreas, altas concentrações de Hg podem afetar a qualidade e a segurança dos vegetais cultivados comercialmente, principalmente, aqueles consumidos diariamente pela população. As plantas, de modo geral, podem absorver e acumular metais pesados em sua biomassa, essencialmente, por meio do solo contaminado e por deposição atmosférica. A acumulação do Hg pelas plantas depende de vários fatores como propriedades específicas da planta, incluindo a morfologia e fisiologia, além de fatores como tipo de solo ou tempo de exposição ao contaminante. Identificar as concentrações de Hg em vegetais cultivados comercialmente é fundamental para assegurar uma alimentação segura à população, reduzindo riscos à saúde causados pela exposição ao mercúrio, principalmente em áreas susceptíveis a essa contaminação como o sul da Amazônia. Assim, este estudo quantificou a concentração de Hg em cultivos de mandioca produzidos pela agricultura familiar no sul da Amazônia, tanto em propriedades rurais próximas às atividades de Mineração Artesanal em Pequena Escala de Ouro (MAPEO), quanto em propriedades localizadas em áreas sem histórico de MAPEO, permitindo avaliar a existência de riscos à saúde da população que consome esse alimento devido à possível exposição ao Hg. Foram coletadas amostras de plantios de mandioca, sendo analisadas as concentrações de Hg presentes nas raízes, caules e folhas, além do solo localizado no entorno da rizosfera. Os resultados indicam que os teores de Hg nas folhas e raízes da mandioca foram superiores na área próxima à mineração de ouro. Observa-se que a mandioca apresentou potencial uso como bioindicadora da deposição atmosférica de Hg próximo às áreas de MAPEO. Observou-se ainda, que com base no consumo de mandioca e farinha de mandioca pela população da região, as concentrações de mercúrio registradas, não oferecem risco à saúde, porém, em países ou comunidades em que as raízes e folhas da mandioca são alimentos de subsistência e, portanto, consumidos em maiores proporções, alerta-se que pode existir o risco à saúde devido a produção em áreas próximas à MAPEO. O monitoramento da produção de alimentos em áreas vizinhas a MAPEOs é fundamental para garantir a segurança alimentar nestas localidades, minimizando os riscos à saúde da população.

**Palavras-chave:** Metal traço; Bioindicador; Bioconcentração; Agricultura familiar; Quociente de Risco.

## ABSTRACT

Mercury (Hg) is one of the most harmful pollutants to the environment, and can present toxic levels in water, soil or atmosphere. It is recognized as a global concern, above all, for its releases in gold mining areas. These things, qualities, quantities and safety can be consumed by commercial products, especially products consumed by safety. How to absorb and accumulate general metals in your biomass, essentially, through plants, through plant planting, and generally accumulate from the soil. The morphology of Hg plants depends on many factors such as plant specifics, including morphology and physiology, in addition to properties such as soil type factors or time of exposure to the soil. Identify yourself as a source of protection for the health of the Amazon commercially is fundamental for the protection of public health, mainly for the protection of public health, especially in susceptible to this source of food as the south of the Amazon. Thus, this quantified the concentration of cassava crops in study areas of family farming in the south of the Amazon, both in properties close to the activities Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM), allowing to assess the existence of risks to the health of the population that consumes this food due to exposure to Hg. Samples of cassava molds were collected, being located in the pattern of Hg present in the roots, in addition to the soil surrounding the rhizome. The results indicate that the Hg contents in the leaves and upper roots of cassava were in the area close to the gold mining. Whether cassava presented the position of potential use of Hg areas close to ASGM. It is also observed that based on the consumption of cassava and cassava flour are registered trademarks by the population of the region, as it can also be considered a health risk, however, in countries or that communities are cassava food and cassava leaves. subsistence and, therefore, consumed in greater proportions, it is warned that there may be a risk to health due to production in areas close to ASGM. Monitoring food production in areas neighboring ASGMs is essential to guarantee food security in these locations, minimizing risks to the health of the population.

**Keywords:** Trace metal; Bioindicator; Bioconcentration; Family farming, Risk Quotient.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
MANUSCRITO - PRESENÇA DE MERCÚRIO EM CULTIVARES DE MANDIOCA, Manihot esculenta CRANTZ NAS VIZINHANÇAS DE ÁREAS DE EXPLORAÇÃO ARTESANAL DE OURO NO SUL DA AMAZÔNIA .....	19
Introdução .....	20
Material e métodos .....	22
Área de estudo.....	22
Coleta das amostras.....	24
Análise química.....	25
Fatores de translocação (TF), bioacumulação (BAF) e bioconcentração (BCF).....	26
Avaliação de risco à saúde .....	26
Análise estatística.....	28
Resultados.....	28
Acumulação de Hg e a mineração artesanal .....	28
Avaliação de risco à saúde .....	30
Discussão .....	30
Acumulação de Hg e a mineração artesanal .....	30
Avaliação de Risco à Saúde.....	33
Conclusão .....	36
Agradecimentos .....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
Material Suplementar .....	42
ANEXO A .....	43

## INTRODUÇÃO GERAL

O mercúrio é um elemento naturalmente encontrado no ambiente, sua presença está associada às liberações oriundas de atividades vulcânicas, de processos de desgaseificação da crosta terrestre, evaporação dos oceanos ou, ainda, pode ser originado a partir de emissões antrópicas. Esse metal é caracterizado como um poluente de preocupação global devido aos seus efeitos sobre a saúde ambiental e dos seres vivos (BANK, 2020; SOMMAR, OSTERWALDER, ZHU, 2020), sendo o monitoramento de sua dinâmica nos ecossistemas, de fundamental relevância para se compreender e mitigar seus efeitos nocivos.

O uso crescente do mercúrio é preocupante. Organizações internacionais têm destacado o aumento significativo da poluição ambiental e da intoxicação da população humana por esse metal, já que, mesmo em pequenas doses, pode ser tóxico (UNEP, 2021). A redução das emissões antrópicas é o principal objetivo da Convenção de Minamata sobre o mercúrio (BRASIL, 2018a). A Convenção entrou em vigor internacionalmente em 2017 e, no Brasil, em 2018, sendo produto de inúmeras negociações internacionais que objetivam proteger a saúde humana e o meio ambiente dos efeitos nocivos do mercúrio (UNEP, 2021; BRASIL, 2018a).

O mercúrio pode ser encontrado em diferentes formas químicas, cada qual com suas características peculiares e atuações diversas no seu ciclo biogeoquímico, seja na atmosfera, na crosta ou no meio aquático. Dentre essas formas, pode ser encontrado em suas espécies inorgânicas ( $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg}^+$  e  $\text{Hg}^{2+}$ ) e em compostos orgânicos, genericamente chamados de metilmercúrio (MeHg). Na atmosfera o Hg predomina na forma metálica ( $\text{Hg}^0$ ) vaporizada, que possui tempo de vida de até 1,7 anos, podendo ser transportado e depositado em qualquer local do planeta, próximos ou não dos locais de emissão, afetando, dessa maneira, ecossistemas afastados das fontes diretas de emissão (ASADUZZAMAN et al., 2019). Tanto na atmosfera, quanto em ambientes aquáticos e terrestres ou, simplesmente, pela presença de radiação solar, o  $\text{Hg}^0$  pode ser oxidado para  $\text{Hg}^{2+}$ , forma que é facilmente metilada (BANK, 2020).

O processo de metilação pode ocorrer por vias bióticas ou abióticas. Entretanto, o processo dominante ocorre mediado por microrganismos, tanto nos ambientes terrestres, quanto aquáticos, assim como a desmetilação, em que, após a perda do radical orgânico, o  $\text{Hg}^{2+}$  é reduzido a  $\text{Hg}^0$  e reemitido ao ambiente (MA et al., 2019). No ambiente edáfico, a disseminação do Hg depende da drenagem, do pH, do potencial de redução, bem como de demais fatores relacionados à constituição e tipo de solo. Entretanto, é importante enfatizar

que a erosão e lixiviação do solo contendo mercúrio transporta esse contaminante para os corpos hídricos, caminho de entrada para sua metilação aquática (AZEVEDO; NASCIMENTO; CHASIN, 2003). As formas orgânicas do mercúrio (metilmercúrio) são altamente tóxicas e biodisponíveis para entrada na cadeia alimentar (USEPA, 2021).

Uma vez presente no ambiente e inserido na cadeia alimentar, o mercúrio pode ser encontrado em plantas ou animais, podendo chegar à população humana por meio de produtos de origem vegetal e animal, como os peixes predadores, apreciados comercialmente, e considerados como a principal fonte de mercúrio na base alimentar humana (ALVES et al., 2017). O MeHg se acumula nos tecidos e é responsável por até 90% do mercúrio total detectado em peixes (WANG et al., 2011; ALVES et al., 2017; DHALIWAL et al., 2020). Outra importante fonte de exposição da população humana ao mercúrio se dá por meio do consumo de vegetais, compreendendo taxas que variam entre 22 e 42% da contaminação (WANG et al., 2011).

Na cadeia alimentar, quanto maior a exposição ao mercúrio, e quanto mais elevado o nível trófico consumidor, maior será a taxa de bioacumulação e biomagnificação, que ao ser retido no organismo, tem sua concentração aumentada com o passar do tempo, já que esse metal, assim como outros elementos, é eliminado lentamente pelo organismo (UNEP, 2019a; GONZALEZ-RAYMAT et al., 2017; CLAYDEN et al., 2013).

O mercúrio está entre os dez agentes poluentes mais preocupantes para a saúde pública, juntamente com arsênio, amianto, benzeno, cádmio, dioxinas e substâncias semelhantes às dioxinas, flúor inadequado ou em excesso, chumbo e pesticidas altamente perigosos (WHO, 2020). A toxicidade do Hg no corpo humano depende fundamentalmente da via de exposição (inalação, alimentação, bebida ou contato com a pele), além do tempo de exposição, dose, sexo, faixa etária, estado nutricional e características genéticas (NATASHA et al., 2020). No organismo o Hg reage com grupos sulfidrilas existentes em proteínas e sistemas enzimáticos de vários tecidos e órgãos, afetando diversos sistemas, entre eles o nervoso central, reprodutivo, cardíaco, digestório, renal, imunológico e respiratório. Apesar da toxicidade do Hg depender da forma como as pessoas são expostas, o consumo de alimentos contaminados é considerado uma das principais vias de exposição, representando uma ameaça potencial à saúde humana (NATASHA et al., 2020).

Estima-se que das emissões atmosféricas, 10% são de fontes naturais, 30% advêm de processos antrópicos e 60% são reemissões do ambiente, provenientes de emissões anteriores naturais ou antrópicas (ASADUZZAMAN et al., 2019). Dentre os principais processos antrópicos que utilizam mercúrio e contribuem com as emissões atmosféricas estão as

indústrias cloro-álcali, indústrias de tintas e eletroeletrônicos, a produção de cimento, a produção de energia com base em petróleo e a Mineração Artesanal em Pequena Escala de Ouro – MAPEO (UNEP, 2019a).

Na MAPEO, o mercúrio é utilizado na amalgamação do ouro e no mundo, essa utilização é responsável pela maior fonte antropogênica de emissões atmosféricas desse metal (ESDAILE; CHALKER, 2018). No Brasil, a estimativa das emissões de Hg por MAPEOs em 2016, esteve entre 11 e 161 toneladas, considerando as produções legais e ilegais (BRASIL, 2018b). Mato Grosso produziu em 2019 mais de 14 toneladas de ouro (Brasil, 2020). A Convenção de Minamata considera a MAPEO como uma atividade que oferece risco à saúde humana pela exposição ocupacional dos mineradores ao mercúrio e pela exposição ambiental, que pode afetar toda a população, devido à contaminação do ambiente como um todo. A convenção ressalta que cada país deve sancionar medidas para, num primeiro momento, reduzir a utilização de Hg em MAPEO e, quando possível, eliminá-la (UNEP, 2019b).

As MAPEOs são consideradas uma fonte antrópica de emissão de mercúrio de forma proposital (BRASIL, 2018b). As minas artesanais ocorrem, geralmente, em países de baixa renda ou em desenvolvimento, com o uso do Hg elementar, muitas vezes de forma ilegal, sem os devidos cuidados ambientais e com a saúde humana (VEGA et al., 2018). Praticamente todo o mercúrio utilizado nas MAPEOs brasileiras é adquirido sem nota fiscal, o que inviabiliza a fiscalização e o controle da quantidade de Hg empregada na extração do ouro no país (BRASIL, 2018b). As informações indicam que mais de 80% da produção de ouro brasileira anunciada em 2016 foi efetuada nos estados do Pará e Mato Grosso. Dessa maneira, entende-se que as MAPEOs desses estados possam representar mais de 80% da produção anual de ouro do país, uma grande parte de maneira ilegal (BRASIL, 2018b).

A metilação no solo faz com que o mercúrio seja inserido no sistema solo-planta (JIA et al., 2017), afetando a qualidade e a segurança alimentar de vegetais e ervas utilizadas pela população (GHASEMIDEHKORDI et al., 2018). A presença de Hg em produtos alimentares oriundos das áreas de influência de MAPEOs já foi registrada. Egler et al. (2006) pesquisaram o teor de Hg em plantas selvagens e cultivadas pelas comunidades locais, em duas áreas de MAPEO no Pará e encontraram concentrações do metal superiores aos valores de referência. Entretanto, os teores de Hg nas partes comestíveis das plantas encontravam-se próximos ou abaixo dos valores recomendados, apontando que não há risco a saúde pelo consumo dos alimentos pesquisados.

Cheng et al. (2013) avaliaram o risco da exposição alimentar ao mercúrio em uma área produtora de ouro no Camboja e detectaram, de acordo com a dieta da população, que o arroz

e o peixe são alimentos com as maiores concentrações de mercúrio total e de metilmercúrio. Marrugo-Negrete et al. (2020) estudaram a transferência e bioacumulação do mercúrio do solo para uma variedade de feijão em áreas de MAPEO com alto teor de Hg na Colômbia e concluíram que, por ser rico em proteínas e mostrar resistência ao transpor o mercúrio para as sementes, pode substituir o consumo de peixe em áreas de mineração artesanal, considerando a existência da contaminação no local.

Outros estudos conduzidos na China comprovaram as consequências da exposição ao mercúrio à saúde humana, via consumo de alimentos contaminados. Hu et al. (2014) analisaram o risco de exposição de metais pesados, por meio do consumo de vegetais produzidos em estufas e seus resultados alertam que esse risco é maior para crianças. Wai et al. (2017) observaram que os valores de ingestão de Hg em vegetais folhosos, arroz, trigo e peixe excedem o valor da dose de referência (RfD) e alertam sobre os riscos para a saúde da população chinesa. Zheng et al. (2018) também avaliaram vegetais folhosos e os resultados indicaram alto risco para a cadeia alimentar e o meio ambiente devido a exposição ao alto teor de mercúrio nas partes comestíveis desses vegetais.

Li et al. (2017) investigando vegetais folhosos e grãos concluíram que o consumo desses alimentos contaminados a longo prazo pode caracterizar um sério risco à saúde devido a ingestão semanal de Hg extrapolar os valores toleráveis. A OMS definiu que a ingestão tolerável semanal de metilmercúrio é de  $1,6 \mu\text{g kg}^{-1}$  (WHO 2007). Para o mercúrio total a OMS estabeleceu  $4 \mu\text{g kg}^{-1}$  de ingestão semanal tolerável ao organismo (JECFA, 2011).

Devido à elevada toxicidade do Hg, o processo de contaminação do solo e dos produtos agrícolas pelas MAPEOs representa um perigo para à saúde e ao meio ambiente (ZHENG et al., 2018). Atualmente, as atividades voltadas para a produção de alimentos se aproximam das áreas de garimpos ativos e inativos, pois com o contínuo desenvolvimento das áreas de pecuária e da produção agrícola no sul da Amazônia, essa aproximação é inevitável, o que aumenta o risco de contaminação por Hg dos alimentos produzidos nestas regiões (e.g. SANTOS et al., 2019; BANK, 2020; CASAGRANDE et al., 2020). O Hg concentrado nos alimentos faz com que a toxicidade seja transferida para os demais níveis tróficos, saindo do nível dos produtores, alcançando os últimos níveis de consumidores onde estão os organismos topo de cadeia (ALVES et al., 2017). Assim, reconhecer como a ação das MAPEOs afeta o setor produtivo, do pequeno ao grande produtor, em suas áreas de influência direta, é fundamental para que se busquem formas sustentáveis de conciliar a produção mineral com o bem estar e saúde da população e do ambiente.

Na região sul da Amazônia, próximo às áreas de MAPEOs são comuns pequenas propriedades rurais em que se pratica a Agricultura Familiar, que é caracterizada pela área de até quatro módulos fiscais (BRASIL, 2006) e pela gestão compartilhada pela família da produção agropecuária e agrícola. Essa prática familiar é a principal responsável pela produção dos alimentos consumidos pela população brasileira, principalmente no entorno de grandes cidades. A agricultura familiar no Brasil é responsável por grande parte da produção de alimentos como a mandioca (80%), abacaxi (69%), café e banana (48% cada) e feijão (42%), além de contribuir substancialmente com a produção de milho, pecuária leiteira, gado de corte, ovinos, caprinos, suínos, aves, cana, arroz, trigo, bem como diversas fruticulturas e hortaliças (BRASIL, 2019). A variedade produtiva do setor se justifica pelo fato do produtor aliar as culturas de subsistência com as culturas designadas ao mercado. Dentre as mais de 5 milhões de propriedades rurais de todo o Brasil, 77% são da agricultura familiar, ocupando uma área de 80,9 milhões de hectares, que correspondem a 23% da área total dos estabelecimentos agropecuários e 23% da produção total no Brasil, além de empregar mais 10 milhões de pessoas (IBGE, 2019).

Dada a importância de alimentação saudável, pautada no consumo de frutas, verduras, legumes, vegetais em geral, como fontes de vitaminas e fibras, e considerando que essas plantas podem bioacumular metais, é fundamental os cuidados com a contaminação por metais pesados (RADWAN; SALAMA, 2006). Tendo em vista que o sul da Amazônia, especificamente a região de Peixoto de Azevedo, possui um histórico de exploração de ouro, e associando-se a isso a necessidade de monitoramento do mercúrio no ambiente, questiona-se: O cultivo de vegetais como a mandioca na região sul da Amazônia é afetado pelas MAPEOs? Caso seja, existe relação da distância entre as áreas de cultivo e as MAPEOs com as concentrações de Hg encontrada na mandioca? Há risco potencial à saúde pública devido à exposição ao Hg pelo consumo de mandioca produzidas nas vizinhanças de MAPEOs?

Considerando a importância da exploração mineral para a economia e a necessidade de subsidiar a sustentabilidade dessas atividades, tanto em relação ao meio ambiente, quanto em relação à saúde das populações inseridas nessas áreas, torna-se necessário monitorar as emissões de Hg e seus efeitos na cadeia alimentar, oportunizando condições de se cumprir o pactuado pela Convenção de Minamata (UNEP, 2019b), avaliando os efeitos da poluição atmosférica gerada pelos minerações artesanais e em pequena escala de ouro, principalmente em função da dispersão desse metal às áreas circunvizinhas.

Assim, este estudo objetivou avaliar a concentração de Hg em cultivos de mandioca na região sul da Amazônia, analisando o efeito da presença das áreas de produção artesanal de

ouro sobre a concentração de Hg encontrada na mandioca, verificando se esses teores de Hg representam algum risco à saúde da população que a consome. Espera-se com os resultados obtidos fornecer subsídios para a adoção de políticas públicas sobre a produção de alimentos nas proximidades destas áreas produtivas de mineração, visando a produção de alimentos seguros e o desenvolvimento sustentável. O presente trabalho está estruturado em forma de um manuscrito, conforme segue:

“Presença de mercúrio em cultivares de mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, nas vizinhanças de áreas de exploração artesanal de ouro no sul da Amazônia”, a ser submetido ao periódico Environmental Monitoring and Assessment, Qualis A2 em Ciências Ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. C.; PAIVA, E. L. de; MILANI, R. F.; BEARZOTI, E.; MORGANO, M. A.; QUINTAES, K. D. Risk estimation to human health caused by the mercury content of Sushi and Sashimi sold in Japanese restaurants in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 52, n. 6, pp. 418-424, 2017. <https://doi.org/10.1080/03601234.2017.1293451>.

ASADUZZAMAN, A.; RICCARDI, D.; AFANEH, A. T.; COOPER, C. J.; SMITH, J. C.; WANG, F.; PARKS, J. M.; SCHRECKENBACH, G. Environmental mercury chemistry—in silico. **Accounts of Chemical Research**, v. 52, n. 2, pp. 379-388, 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00454>.

AZEVEDO, F. A.; NASCIMENTO, E. S. e CHASIN, A. A. M. Mercúrio. In.: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M (org). **Metais: Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, cap. 11, pp. 299-352, 2003.

BANK, M. S. The mercury science-policy interface: History, evolution and progress of the Minamata Convention. **Science of the Total Environment**, v. 722, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137832>.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas**. – Brasília, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb\\_2020\\_ano\\_base\\_2019\\_revisada2\\_28\\_09.pdf](https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2020_ano_base_2019_revisada2_28_09.pdf). Acesso em: 20 dez. 2021.

BRASIL. LEI Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006. Lei da Agricultura Familiar. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 jul. 2006. p. 1. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2006/lei-11326-24-julho-544830-norma-actualizada-pl.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

BRASIL. Decreto nº 9.470, de 14 de agosto de 2018. Promulga a Convenção de Minamata sobre Mercúrio, firmada pela República Federativa do Brasil, em Kumamoto, em 10 de

outubro de 2013. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 ago. 2018a. Seção 1, p. 65. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/36849570/do1-2018-08-15-decreto-n-9-470-de-14-de-agosto-de-2018-36849564](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/36849570/do1-2018-08-15-decreto-n-9-470-de-14-de-agosto-de-2018-36849564). Acesso em: 27 jul. 2020.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Inventário Nacional de Emissões e Liberações de Mercúrio no Âmbito da Mineração Artesanal e de Pequena Escala no Brasil**, Brasília, 2018b. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80037/Mercurio/Projeto%20MIA/Produtos%20Consultorias/Inventario\\_CETEM/3.Relatorio-Final-3.pdf](https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80037/Mercurio/Projeto%20MIA/Produtos%20Consultorias/Inventario_CETEM/3.Relatorio-Final-3.pdf), acesso em 11/05/2020.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Meio Ambiente. **Agricultura Familiar**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/agricultura-familiar-1#:~:text=Agricultura%20Familiar%20%C3%A9%20a%20principal,%2C%20aquicultores%2C%20extrativistas%20e%20pescadores>. Acesso em: 17 jan. 2022.

CASAGRANDE, G. C. R.; FRANCO, D. N. M.; MORENO, M. I. C.; ANDRADE, E. A.; BATTIROLA, L. D.; ANDRADE, R. L. T. Assessment of atmospheric mercury deposition in the vicinity of artisanal and small-scale gold mines using *Glycine max* as Bioindicators. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 231, n. 11, p. 551, 2020.

CHENG, Z.; WANG, H. S.; DU, J.; STHIANNOPKAO, S.; XING, G. H.; KIM, K. W.; YASIN, M. S.; HASHIM, J. H.; WONG, M. H. Dietary exposure and risk assessment of mercury via total diet study in Cambodia. **Chemosphere**, v. 92, pp. 143–149, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.025>.

CLAYDEN, M. G.; KIDD, K. A.; WYN, B.; KIRK, J. L.; MUIR, D. C.; O'DRISCOLL, N. J. Mercury biomagnification through food webs is affected by physical and chemical characteristics of lakes. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 21, pp. 12047–12053, 2013. <https://doi.org/10.1021/es4022975>.

DHALIWAL, S. S.; SINGH, J.; TANEJA, P. K.; MANDAL, A. Remediation techniques for removal of heavy metals from the soil contaminated through different sources: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 2, pp. 1319–1333, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06967-1>.

EGLER, S. G.; RODRIGUES-FILHO, S.; VILLAS-BÔAS, R. C.; BEINHOF, C. Evaluation of mercury pollution in cultivated and wild plants from two small communities of the Tapajós gold mining reserve, Pará State, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 368, pp. 424–433, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.037>.

ESDAILE, L. J.; CHALKER, J. M. The mercury problem in artisanal and small-scale gold mining. **Chemistry (Weinheim an Der Bergstrasse, Germany)**, v. 24, n. 27, pp. 6905, 2018. <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>.

GHASEMIDEHKORDI, B.; MALEKIRAD, A. A.; NAZEM, H.; FAZILATI, M.; SALAVATI, H.; SHARIATIFAR, N.; REZAEI, M.; FAKHRI, Y.; MOUSAVI KHANEGHAH, A. Concentration of lead and mercury in collected vegetables and herbs from

Markazi province, Iran: a non-carcinogenic risk assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 113, pp. 204-210, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.048>.

GONZALEZ-RAYMAT, H.; LIU, G.; LIRIANO, C.; LI, Y.; YIN, Y.; SHI, J.; JIANG, G.; CAI, Y. Elemental mercury: Its unique properties affect its behavior and fate in the environment. **Environmental Pollution**, v. 229, pp. 69–86, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.101>

HU, W., CHEN, Y., HUANG, B., NIEDERMANN, S. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from a typical greenhouse vegetable production system in China. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 20, pp. 1264–1280, 2014. <https://doi.org/10.1080/10807039.2013.831267>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, v.8, p.1-105, 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf). Acesso em: 17 jan. 2022.

JECFA. Evaluation of certain food additives and contaminants. 72th Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive. WHO Technical Report Series 959. 2011. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44514>. Acesso em: 15 nov. 2021.

JIA, Q.; ZHU, X.; HAO, Y.; YANG, Z.; WANG, Q.; FU, H.; YU, H. Mercury in soil, vegetable and human hair in a typical mining area in China: Implication for human exposure. **Journal of Environmental Sciences**, v. 68, pp. 73-82, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2017.05.018>.

LI, R.; WU, H.; DING, J.; FU, W.; GAN, L.; LI, Y. Mercury pollution in vegetables, grains and soils from areas surrounding coal-fired power plants. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, pp. 1-9, 2017. <https://doi.org/10.1038/srep46545>.

MA, M.; DU, H.; WANG, D. A new perspective is required to understand the role of forest ecosystems in global mercury cycle: a review. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 102, pp. 650-656, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02569-2>.

MARRUGO-NEGRETE, J.; DURANGO-HERNÁNDEZ, J.; DÍAZ-FERNÁNDEZ, L.; URANGO-CÁRDENAS, I.; ARAMÉNDIZ-TATIS, H.; VERGARA-FLÓREZ, V.; BRAVO, A. G.; DÍEZ, S. Transfer and bioaccumulation of mercury from soil in cowpea in gold mining sites. **Chemosphere**, v. 250, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126142>.

NATASHA; SHAHID, M.; KHALID, S.; BIBI, I.; BUNDSCHUH, J.; NIAZI, N. K.; DUMAT, C. A critical review of mercury speciation, bioavailability, toxicity and detoxification in soil-plant environment: Ecotoxicology and health risk assessment. **Science of the Total Environment**, v. 711, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134749>.

RADWAN, M. A.; SALAMA, A. K. Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. **Food and Chemical Toxicology**. v.44, n.8, p.1273-1278, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.02.004>.

SANTOS, R. C.; LIMA, M., JUNIOR, C. A. S.; BATTIROLA, L. D. Disordered conversion of vegetation committees connectivity between forest fragments in the Brazilian Legal Amazon. **Applied Geography**, v. 111, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102082>.

SOMMAR, J.; OSTERWALDER, S.; ZHU, W. Recent advances in understanding and measurement of Hg in the environment: Surface-atmosphere exchange of gaseous elemental mercury (Hg<sup>0</sup>). **Science of The Total Environment**, v. 721, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137648>.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Global mercury assessment – 2018**. U.N. Environment Programme, Chemicals and Health Branch. Geneva, Switzerland, 2019a. ISBN: 978-92-807-3744-8. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018>. Acesso em: 10 nov. 2021.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Minamata convention on mercury – Text and annexes**. 2019b. Disponível em: <https://www.mercuryconvention.org/sites/default/files/2021-06/Minamata-Convention-booklet-Sep2019-EN.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2021.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Aniversário da Convenção de Minamata marca combate ao mercúrio tóxico no mundo**. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/aniversario-da-convencao-de-minamata-marca-combate-ao-mercuro>. Acesso em: 13 dez. 2021.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Health Effects of Exposures to Mercury**. 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov/mercury/health-effects-exposures-mercury>. Acesso em: 15 dez. 2021.

VEGA, C. M.; ORELLANA, J. D.; OLIVEIRA, M. W.; HACION, S. S.; BASTA, P. C. Human Mercury Exposure in Yanomami Indigenous Villages from the Brazilian Amazon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 6, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061051>.

WAI, K. M.; DAI, J.; PETER, K.; ZHOU, X.; WONG, C. M. Public health risk of mercury in China through consumption of vegetables, a modelling study. **Environmental research**, v. 159, p. 152-157, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.010>.

WANG, X.; LI, Y. F.; LI, B.; DONG, Z.; QU, L.; GAO, Y.; CHAI, Z.; CHEN, C. Multielemental contents of foodstuffs from the Wanshan (China) mercury mining area and the potential health risks. **Applied geochemistry**, v.26, n.2, p.182-187, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.11.017>.

WHO – World Health Organization. **10 chemicals of public health concern. 2020**. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/photo-story/photo-story-detail/10-chemicals-of-public-health-concern>. Acesso em: 25 dez. 2021.

ZHENG, S. A.; WU, Z.; CHEN, C.; LIANG, J.; HUANG, H.; ZHENG, X. Evaluation of leafy vegetables as bioindicators of gaseous mercury pollution in sewage-irrigated areas. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, pp. 413-421, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0438-8>

**MANUSCRITO****PRESENÇA DE MERCÚRIO EM CULTIVARES DE MANDIOCA,  
*Manihot esculenta* Crantz NAS VIZINHANÇAS DE ÁREAS DE  
EXPLORAÇÃO ARTESANAL DE OURO NO SUL DA AMAZÔNIA**

---

O presente manuscrito seguirá as padronizações adotadas pelo periódico Environmental Monitoring and Assessment, no qual presente trabalho será submetido (Anexo “A”).

## **Presença de mercúrio em cultivares de mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, nas vizinhanças de áreas de exploração artesanal de ouro no sul da Amazônia**

Jamille Braga Malvino<sup>1</sup>, Ednaldo Antônio de Andrade<sup>2</sup>, Leandro Dênis Battirola<sup>1</sup>, Ricardo Lopes Tortorela de Andrade<sup>1</sup>

1. Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Av. Alexandre Ferronato, 1200, Setor Industrial, CEP 78557-267, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

2. Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Av. Alexandre Ferronato, 1200, Setor Industrial, CEP 78557-267, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

### **Resumo**

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae), planta nativa do Brasil, é uma das principais fontes de carboidrato na dieta dos brasileiros. Em regiões produtoras de ouro, como o sul da Amazônia, é inevitável a aproximação das lavouras com as minas artesanais e de pequena escala (MAPEOs), gerando riscos de contaminação da produção por mercúrio (Hg). Devido à importância da mandioca na alimentação da população mundial, o presente estudo objetivou avaliar o efeito da proximidade das MAPEOs sobre as concentrações de Hg em amostras de solo e de mandioca e avaliar o risco de exposição humana ao Hg pelo consumo deste alimento. As amostras foram coletadas em duas áreas ao longo da BR-163, no Estado de Mato Grosso, Brasil. Foram coletadas 42 amostras de mandioca (raízes, caules e folhas) e solo. Não foi observado efeito das MAPEOs sobre as concentrações de Hg no solo. As maiores concentrações de Hg nas folhas foram observadas na área próxima a MAPEOs, indicando maior deposição atmosférica. Na área com mineração o fator de bioconcentração superior indica o efeito do Hg proveniente da atmosfera também sobre as concentrações nas raízes. Estimativas da ingestão diária e do quociente de risco à saúde foram realizadas para a mandioca e para a farinha de mandioca, com os maiores valores observados nas proximidades de MAPEOs, porém, todos abaixo dos limites estabelecidos, indicando que, atualmente, o consumo destes alimentos pela população é seguro. A lavoura de mandioca pode ser usada como bioindicadora da poluição atmosférica por Hg provocada pela MAPEO.

Palavras-Chave: Mineração, Agricultura familiar, Ingestão diária, Quociente de risco, Bioindicador.

### **Introdução**

A mandiocultura é a quarta na produção dos alimentos mais importantes à população mundial. Planta nativa do Brasil, a mandioca, *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae), é uma das principais fontes de carboidrato na dieta dos brasileiros (Brasil, 2008), e devido ao seu elevado potencial nutritivo foi levada para diferentes partes do mundo, é considerada

umas das principais fontes de carboidrato na dieta de populações de baixa renda, sendo consumida por mais de 800 milhões de pessoas (Filgueiras & Homma, 2016).

Rica em fibras alimentares, carboidratos e vitamina B, a raiz pode ser consumida cozida na sua forma natural ou como farinha e o seu uso é diverso nas preparações culinárias (Brasil, 2008). O cultivo de mandioca espalhou-se pelo mundo quando os colonizadores portugueses visualizaram a mandioca e sua farinha como alimento principal na dieta dos marinheiros e escravos africanos. Assim, a mandioca passou a ser, inicialmente, exportada para Angola em troca de escravos, e logo passou a ser cultivada em terras africanas e difundir-se em, praticamente, todos os países de clima tropical. A mandioca tornou-se essencial para a segurança alimentar de vários países dos continentes africano e americano (Guimarães, 2016).

O maior produtor mundial de mandioca é a Nigéria, que juntamente com Gana, Congo, Moçambique e Angola são responsáveis por 45% da produção mundial. Na África, a cultura da mandioca tem sua importância pela característica de produção de subsistência (Coelho & Ximenes, 2020). Em 2012, o Brasil ocupava a quarta posição no ranking de produção mundial, com 23,04 milhões de toneladas (Filgueiras & Homma, 2016). Em 2019, a produção brasileira de mandioca foi 18,9 milhões de toneladas, mas sofreu reduções sucessivas devido às condições climáticas, demanda do mercado e a pandemia enfrentada desde março de 2020, em função das restrições impostas pelo isolamento social (Coelho & Ximenes, 2020).

Na região Norte do Brasil, a mandioca é de grande importância econômica, social e cultural. A farinha de mandioca é produto essencial da alimentação na Amazônia. A população desta região é a que mais consome farinha de mandioca, com consumo médio de 38 g dia<sup>-1</sup> pessoa<sup>-1</sup>, enquanto o consumo médio nacional é de 8,0 g dia<sup>-1</sup> pessoa<sup>-1</sup> (IBGE, 2020). A região Norte é a maior produtora de mandioca do Brasil, com uma produção média anual de 7 milhões de toneladas. As folhas da mandioca também são consumidas e utilizadas na fabricação de ração animal e insumo industrial. A folha moída é chamada de maniva e é o principal ingrediente de um prato regional conhecido como maniçoba, um prato em que a maniva substitui o feijão (EMBRAPA, 2021).

Os pequenos produtores são responsáveis por cerca de 80% da produção de mandioca no Brasil (IBGE, 2019), que é comumente cultivada em todo país, inclusive em áreas próximas a mineração de ouro. A MAPEO, Mineração Artesanal de Pequena Escala de Ouro, é uma das principais fontes de emissões antrópicas de Hg (Azevedo et al., 2003; UNEP, 2019). Nesse processo de mineração de ouro, o Hg é utilizado para extrair partículas menores de ouro por meio da amalgamação. Logo após, ocorre a queima da amálgama formada e o

mercúrio metálico,  $Hg^0$ , é vaporizado e emitido para a atmosfera, restando apenas o ouro (Torkaman et al., 2021). A mineração artesanal de ouro ocorre, principalmente, na América do Sul, Ásia e África, em países em desenvolvimento, onde o Hg é utilizado de forma ilegal, sem os cuidados necessários com a saúde dos trabalhadores e com o meio ambiente (Bank, 2020; UNEP, 2019).

Devido a contaminação do solo, da água e do ar que pode ser causada pela MAPEO, é fundamental verificar se alimentos como a mandioca cultivada próxima dessas áreas de mineração possui teores de Hg que provoquem problemas de saúde à população devido a exposição ao metal, já que estudos tem relacionado as concentrações de Hg em alimentos com a proximidade de áreas de MAPEOs (e.g. Egler et al, 2006; Cheng et al., 2013; Bose-O'Reilly et al., 2016; Ghasemidehkordi et al., 2018)

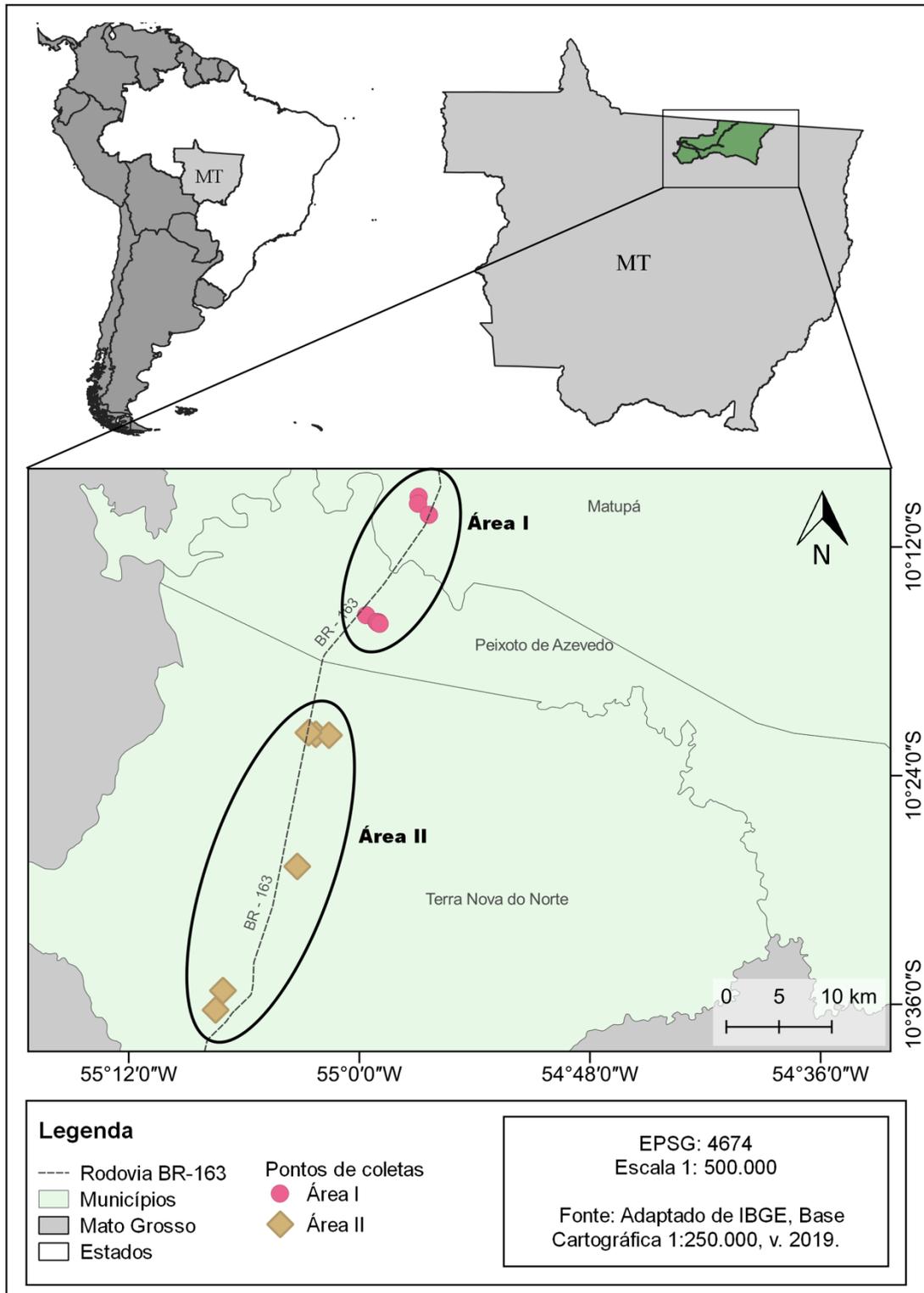
Visto a importância da mandioca na alimentação da população regional e mundial, e a grande quantidade de minas artesanais de ouro na região sul da Amazônia e visando entender melhor o risco de exposição ao Hg para meio ambiente e para saúde humana, o presente estudo determinou as concentrações de Hg total (THg) em áreas de cultivo de mandioca no sul da Amazônia, analisando a relação entre as concentrações obtidas de Hg e a proximidade das áreas de mineração. A capacidade da mandioca de absorver o Hg presente no ambiente foi avaliada utilizando os fatores de translocação, bioacumulação e de bioconcentração, e, conseqüentemente, mostram a capacidade da planta de bioindicar a contaminação ambiental pelo metal oriundo das MAPEOs nessa região. Conjuntamente, foi realizada uma avaliação de risco à saúde humana por exposição ao Hg, por meio do consumo da mandioca e da farinha de mandioca, estimando-se a ingestão diária do metal e o quociente de risco à saúde pelo consumo destes alimentos pela população.

## **Material e métodos**

### *Área de estudo*

O estudo foi conduzido na região norte de Mato Grosso ao sul da Amazônia. As amostras dos cultivos de mandioca e de solo foram obtidas em plantações existentes em propriedades que praticam a agricultura familiar, ao longo da rodovia Br-163, abrangendo os

municípios de Matupá, Peixoto de Azevedo e Terra Nova do Norte (Figura 1).



**Fig. 1** Localização geográfica das áreas de coleta de mandioca no norte do Estado de Mato Grosso, ao sul da Amazônia. Desenho: Malvino (2022)

Mato Grosso produziu em 2019 mais de 14 toneladas de ouro (Brasil, 2020). A região de estudo faz parte da Província Mineral do Norte de Mato Grosso, que é responsável por, aproximadamente, 60% da produção total de ouro do estado, e é dividida em quatro distritos quanto à mineração do ouro: Peixoto do Azevedo, Teles Pires, Cabeça e Aripuanã, totalizando uma área de 873.125 hectares (Brasil, 2002).

A Área I compreende os municípios de Matupá e Peixoto de Azevedo, no extremo norte de Mato Grosso, próximo à divisa com o Estado do Pará, com estimativa de 17.017 e 35.695 habitantes, respectivamente. A exploração mineral é antiga na região, desde 1979 e possui uma das maiores cooperativas de garimpeiros do país, a COOGAVEPE – Cooperativa de Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto com mais 5.000 cooperados (IBGE, 2021). Essa área possui um longo histórico de atividade garimpeira e nela, todos os pontos de coleta estavam localizados próximos à MAPEOs.

A Área II, está localizada no território do Município de Terra Nova Norte, com estimativa de 9.284 habitantes (IBGE, 2021). A Área II não possui atividade garimpeira nas vizinhanças, apesar de Terra Nova do Norte ter histórico de exploração garimpeira no início da colonização da região, por volta da década de 1980 (Lovato, 2017), mas, atualmente, não se tem notícias de mineração nessa área.

#### *Coleta das amostras*

As plantas inteiras de mandioca foram coletadas nos meses de setembro e outubro de 2020. Ao todo foram visitadas 14 pequenas propriedades, hortas de agricultura familiar com áreas menores que 50 m x 50 m de cultivo de mandioca, destinado principalmente à subsistência e o excedente, à venda. Em cada propriedade, foram amostradas três plantas, sendo oito propriedades na Área I e seis propriedades na Área II, totalizando 42 plantas inteiramente coletadas. Todas as plantas estavam em fase produtiva e prontas para colheita, consumo ou comercialização, com tempo médio de cultivo de onze meses. As amostras foram armazenadas, individualmente, em sacos de plástico. Além das plantas, foram coletadas 42 amostras de solo em torno das raízes, a uma profundidade de 0-20 cm.

Após coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório Integrado de Pesquisas Químicas (LIPEQ) da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, para a separação e preparação para análise química. No laboratório as plantas foram lavadas em água corrente para remoção dos resíduos sólidos aderidos. Cada planta foi separada em raiz, caule e folhas, obtendo-se ao todo 42 amostras de cada parte, sendo então pesadas para o

registro do peso fresco. O material foi colocado em estufa de secagem com circulação de ar a 50 °C até a obtenção de peso constante. Após a secagem, as amostras vegetais foram trituradas, peneiradas para homogeneização das partes, acondicionadas individualmente e armazenadas a -20 °C até a análise química. O percentual de água presente nas diferentes partes da planta fresca foi então determinado.

As amostras de solo foram peneiradas em peneira de 1 mm de malha, secas em estufa de secagem com circulação de ar forçada a temperatura de 50 °C até a obtenção de peso constante, e armazenadas a -20 °C para posterior análise química.

### *Análise química*

As amostras de solo e material vegetal (raízes, folhas e caules) foram analisadas seguindo o mesmo procedimento. Aproximadamente 0,3 g de cada amostra foram pesados em balança digital com precisão de  $\pm 0,1$  mg e, posteriormente, transferidos para tubos de digestão. Foram adicionados 2 mL de uma mistura de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) na proporção de 1:1, além de 5 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Sequencialmente, os tubos foram aquecidos em bloco digestor a 230 °C por 60 minutos (Akagi & Nishimura, 1991), resfriados e transferidos para frascos volumétricos de 25 mL, seguido de diluição com água destilada.

Em seguida as soluções das amostras foram analisadas por espectrometria de absorção atômica com atomização por geração de vapor frio usando o cloreto de estanho (II) como redutor, em espectrômetro de absorção atômica Varian AA140, equipado com acessório de geração de vapor frio (VGA77). A solução padrão de estoque usada para a curva de calibração foi rastreada para o NIST (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia), marca Specsol. O método utilizado é linear de 0,2 a 40  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

A precisão relativa de  $\pm 5,8\%$  do método analítico foi determinada para THg nas folhas e solo com amostras fortificadas antes da digestão com três concentrações diferentes de Hg (17, 165 e 415  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) e sete repetições para cada concentração. A recuperação de Hg nas amostras fortificadas variou entre 97% e 110%. Para cada 10 amostras analisadas, uma réplica foi adicionada para controlar a precisão das amostras não fortificadas, obtendo-se coeficiente médio de variação entre as réplicas de 7%. O limite de detecção, definido como a média mais três vezes o desvio padrão de dez análises de brancos, foi de 6,7  $\mu\text{g kg}^{-1}$  e, o limite de quantificação, definido como a média mais dez vezes o desvio padrão de dez análises de brancos, foi de 13,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Neto et al., 2012).

*Fatores de translocação (TF), bioacumulação (BAF) e bioconcentração (BCF)*

Os fatores de translocação (TF), bioacumulação (BAF) e bioconcentração (BCT) foram calculados, utilizando-se as concentrações de Hg determinadas no solo, raízes e folhas de planta. O fator de translocação (TF) (Eq. 1) foi calculado pela razão da concentração de metal nas folhas das plantas ( $[Hg]_{\text{folhas}}$ ) e a concentração de metal nas raízes ( $[Hg]_{\text{raízes}}$ ) (Marrugo-Negrete et al., 2020).

$$(1) \quad TF = \frac{[Hg]_{\text{folhas}}}{[Hg]_{\text{raiz}}}$$

O fator de bioconcentração (BCF) (Eq. 2) foi determinado pela razão da concentração de metal nas raízes,  $[Hg]_{\text{raiz}}$ , e concentração de metal no solo,  $[Hg]_{\text{solo}}$  (Marrugo-Negrete et al., 2020).

$$(2) \quad BCF = \frac{[Hg]_{\text{raiz}}}{[Hg]_{\text{solo}}}$$

Finalmente, o fator de bioacumulação (BAF) (Eq. 3) foi calculado pela razão da concentração de metal nas folhas, ( $[Hg]_{\text{folhas}}$ ) e a concentração do metal no solo,  $[Hg]_{\text{solo}}$  (Marrugo-Negrete et al., 2020).

$$(3) \quad BAF = \frac{[Hg]_{\text{folhas}}}{[Hg]_{\text{solo}}}$$

*Avaliação de risco à saúde*

*Estimativa de ingestão diária*

Os consumos diários estimados (EDI) de Hg foram calculados com base nas concentrações de THg nas raízes de mandioca e no consumo médio per capita de mandioca e da farinha de mandioca (Eq. 4) (León-Cañedo et al., 2019).

$$(4) \quad EDI = \frac{C_{[Hg]} \cdot f \cdot IR}{b_w}$$

onde o “ $C_{[Hg]}$ ” é a concentração de mercúrio na raiz em  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , o “ $f$ ” é o fator de conversão de massa fresca (massa seca (g)/massa fresca (g)) com valor médio de, aproximadamente, 0,3153 neste estudo), “ $IR$ ” é consumo médio diário per capita de mandioca (kg/dia), e “ $b_w$ ” é o peso corporal médio de um indivíduo (assumido ser 70 kg para adultos nesse estudo).

Para calcular a estimativa de ingestão diária para farinha de mandioca, foi utilizado o fator de conversão igual a 1, considerando que o procedimento de preparo e secagem das raízes é semelhante a secagem para produção da farinha de mandioca. O consumo médio diário per capita para a população brasileira foi de 9,0 g para a mandioca e 8,0 g para a farinha de mandioca (IBGE, 2020). As ingestões diárias estimadas foram comparadas com a ingestão diária tolerável provisória (PTDI) de  $0,57 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ pessoa}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , limite estabelecido pelo Joint FAO/WHO *Expert Committee on Food Additives* (JEFCA, 2011; Marrugo-Negrete et al., 2020) indicando a dose máxima do composto e abaixo da qual não há risco conhecido de efeitos para a saúde.

#### Quociente de risco alvo

O risco à saúde relacionado a exposição ao Hg por meio do consumo de mandioca e da farinha de mandioca foi estimado de acordo com o quociente de risco total (THQ), que foi calculado pela Equação (5) para mandioca e para farinha:

$$(5) \quad THQ = \frac{E_f \cdot E_d \cdot C_{[Hg]} \cdot f \cdot D_{IR}}{R_{fD} \cdot b_w \cdot T_{an}} \times 10^{-3}$$

A metodologia para estimar o risco à saúde não cancerígeno THQ é descrita em detalhes pela USEPA em que “ $E_f$ ” é a frequência de exposição (365 dia/ano); “ $E_d$ ” é a duração da exposição (70 anos) (Liang et al., 2019), equivalente ao tempo de vida médio; “ $D_{IR}$ ” é a taxa de ingestão de alimentos (g/pessoa/dia); “ $C_{[Hg]}$ ” são as concentração de Hg (mg/g) na mandioca; “ $R_{fD}$ ” é a dose oral de referência (Hg =  $3 \times 10^{-4} \text{ mg/g/d}$ ) (León-Cañedo et al., 2019; Barone et al., 2018; Eregno et al., 2017); “ $b_w$ ” é o peso corporal médio (70 kg) de uma população adulta e “ $T_{an}$ ” é o tempo médio de exposição para não cancerígenos (365 dia/ano  $\times$  ED). O THQ para mandioca foi calculado relativo à massa fresca, utilizando o fator de conversão “ $f$ ” de, aproximadamente, 0,3153 e para farinha de mandioca o fator utilizado foi igual a 1.

### *Análise estatística*

Considerou-se os dados amostrais da Área I (com presença de MAPEOs) e Área II (sem presença de MAPEOs), sendo que o número de observações da Área I foi igual a 24 ( $n = 24$ ) e da Área II foi igual a 18 ( $n = 18$ ). Para análise dos dados coletados, após apresentarem distribuição normal, utilizou-se o teste t-Student para amostras independentes, com o propósito de comparar as médias entre os dois grupos. Os parâmetros avaliados foram as concentrações de mercúrio nas folhas, caules, raízes das plantas e no solo, e ainda os índices BAF, BCF e TF. Foram considerados resultados estatisticamente significativos aqueles com valores de  $p < 0,05$ .

## **Resultados**

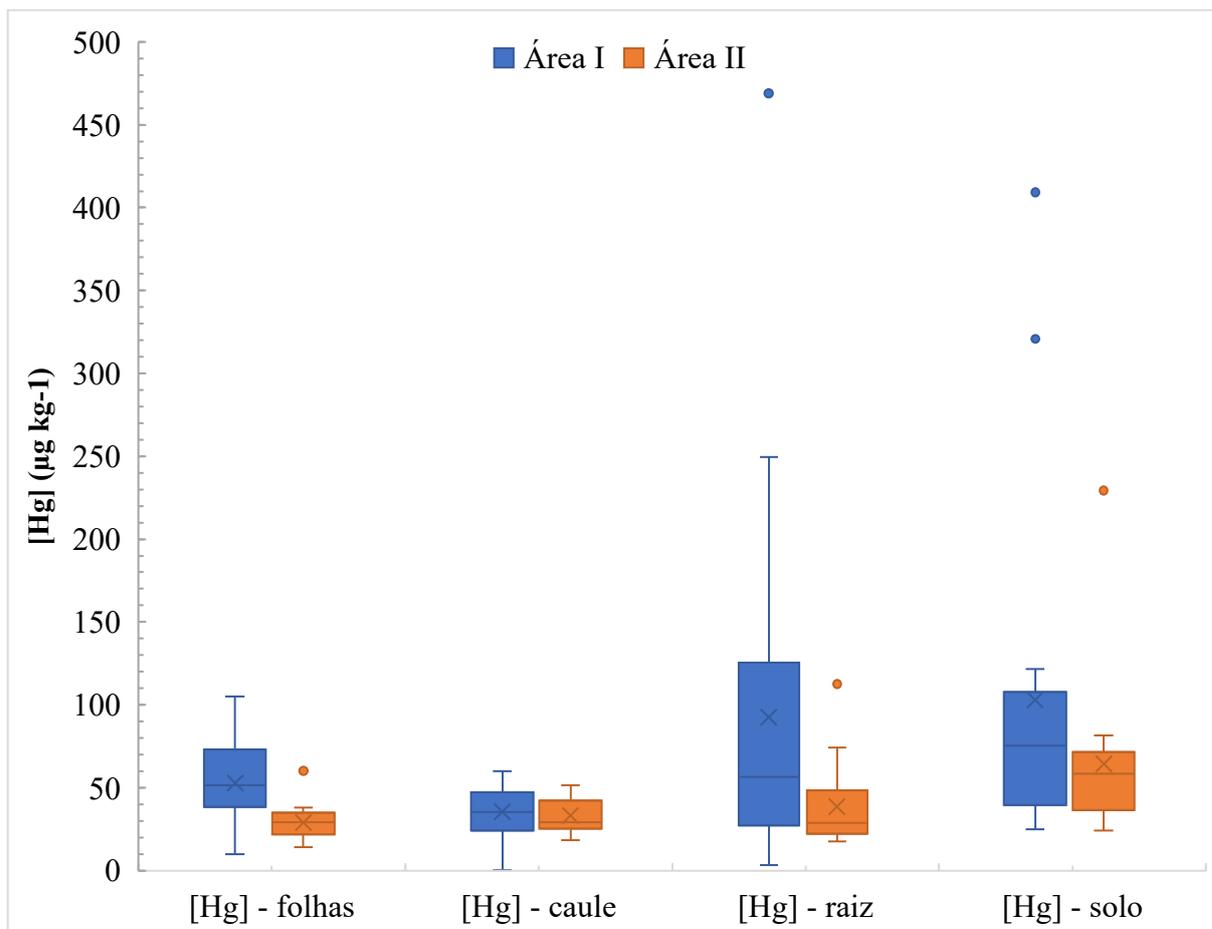
### *Acumulação de Hg e a mineração artesanal*

As concentrações médias de Hg presentes nas partes da mandioca variam entre as áreas avaliadas (Tabela 1). A Área I apresentou as maiores concentrações médias de Hg nas folhas e raízes. As concentrações médias de Hg encontradas no solo e no caule não diferiram significativamente. A Área I, próxima à MAPEO, apresentou concentração média de Hg nas folhas até 83% superior ao observado na Área II. Na Área I foi observado nas raízes concentração média de Hg em torno de 150% superior à concentração média da Área II. Na Figura 2 é possível observar a distribuição dos dados de concentração de THg nas diversas partes da planta e áreas estudadas.

**Tabela 1** Comparações das médias de concentrações de mercúrio ( $\mu\text{g kg}^{-1} \pm \text{DP}$ )\* nas diferentes partes da mandioca e no solo entre as áreas estudadas no sul da Amazônia

ÁREAS	PARTES			
	Raiz	Caule	Folha	Solo
I	92,35 ± 102,65	35,41 ± 15,46	52,74 ± 23,38	102,99 ± 101,40
II	36,85 ± 21,98	33,12 ± 10,59	28,81 ± 10,73	64,75 ± 44,99
P-valor	0,01621	0,57253	0,00013	0,10937

\* p-valor  $< 0,05$  indica diferença entre os grupos



**Fig. 2** Distribuição dos dados de concentração de THg ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) obtida nas diferentes partes das plantas de mandioca e o solo entre as áreas estudadas no sul da Amazônia

Os fatores de translocação, bioacumulação e bioconcentração constam na Tabela 2. O maior fator de bioconcentração (BCF) foi de 1,08 observado na Área I. Os fatores de translocação (TF) e bioacumulação (BAF) não apresentaram diferença estatística entre as áreas avaliadas e observou-se valores de TF superiores a 1 para as duas áreas avaliadas.

**Tabela 2** Comparação dos fatores de translocação (TF), bioacumulação (BAF) e bioconcentração (BCF) de mercúrio em plantas de mandioca coletadas em duas áreas no sul da Amazônia.

Áreas de coleta	TF	BAF	BCF
I	$1,47 \pm 2,35$	$0,81 \pm 0,77$	$1,08 \pm 0,83$
II	$0,96 \pm 0,48$	$0,58 \pm 0,37$	$0,64 \pm 0,25$
P-valor*	0,32185	0,2164	0,02408

\* p-valor < 0,05 indica diferença entre os grupos

### *Avaliação de risco à saúde*

Para a avaliação de risco à saúde, as EDI de Hg na mandioca e na farinha de mandioca, foram calculadas utilizando as concentrações médias de Hg nas raízes de cada área (Tabela 3). Os maiores valores de EDI pertencem a Área I, tanto para a mandioca, quanto para a farinha de mandioca. O THQ por exposição ao Hg foi calculado com as concentrações médias das raízes de cada área. Tanto para a mandioca, quanto para a ingestão de farinha de mandioca os valores obtidos estão abaixo de 1 (Tabela 3), entretanto, a Área I apresentou os maiores valores.

**Tabela 3** Estimativas de ingestão diária (EDI) de Hg e quociente de risco à saúde (THQ) pelo consumo da mandioca e da farinha de mandioca pela população do sul da Amazônia

Áreas	EDI		THQ	
	Mandioca	Farinha	Mandioca	Farinha
I	0,004	0,011	0,012	0,040
II	0,001	0,004	0,005	0,016

## **Discussão**

### *Acumulação de Hg e a mineração artesanal*

As concentrações médias de Hg presentes em raízes e folhas de mandioca variam entre as áreas avaliadas, evidenciando a existência de um efeito associado à exploração garimpeira de ouro à contaminação ambiental. A maior concentração média de Hg nas folhas pertence à Área I, próxima às MAPEOs, ou seja, uma região de emissão antrópica de Hg. A MAPEO libera para atmosfera  $Hg^0$ , que pode ser oxidado ( $Hg^+$  ou  $Hg^{+2}$ ) e ligar-se a partículas mais pesadas, facilitando sua deposição. Ao ser depositado no solo, na água ou na superfície dos vegetais, pode ser modificado para a forma orgânica e biomagnificar na cadeia alimentar, causando danos aos seres vivos (e.g. Bank, 2020; Azevedo et al., 2003; Sommar et al., 2020). O Hg destaca-se entre os poluentes, pois não se degrada na natureza e possui a tendência de bioacumular nos organismos (Turkyilmaz et al. 2018). A deposição do Hg elementar gasoso nos ecossistemas pode levar meses, dificultando a descoberta da fonte de emissão (Ariya et al. 2015; Saiz-Lopez et al., 2018).

Ma et al. (2019) afirmaram que, em geral, o Hg encontrado nas plantas é resultante do processo de deposição atmosférica ou por absorção pelo solo. Portanto, o Hg presente nas folhas pode ser absorvido do solo e translocado às partes superiores via raízes (Chandra, et

al.,2017) ou pode ser absorvido diretamente da atmosfera (Casagrande et al., 2020). Em condições em que as concentrações de Hg no solo não apresentam diferença, conforme as encontradas neste estudo, a maior concentração média de Hg nas folhas na Área I sugere maior deposição do Hg na superfície foliar em áreas próximas à exploração de ouro, conforme também observado em outros estudos (e.g. Casagrande et al., 2020; Esbrí et al., 2018).

As amostras obtidas na Área I possuem maior concentração de Hg nas folhas e nas raízes em relação à Área II, apesar das áreas estudadas possuírem as mesmas concentrações de Hg no solo. Destaca-se que a absorção estomática do Hg pelas folhas e a transferência para as raízes, é uma via possível para a absorção do Hg por determinadas plantas (Assad et al., 2016; Ma et al., 2019). Os resultados indicam que para a mandioca, as folhas, juntamente com o solo, podem contribuir para a absorção de Hg pelas raízes. Portanto, a mandioca é capaz de armazenar o Hg captado na atmosfera nas folhas e raízes, mostrando elevado potencial para a bioindicação da emissão deste metal pelas MAPEOs.

As concentrações médias observadas nos solos indicam que não há contaminação de Hg nas áreas, pois se mantiveram abaixo do limite estabelecido de  $300 \mu\text{g kg}^{-1}$  (UNEP, 2002). Esses resultados coincidem com os valores observados por Casagrande et al. (2020), na mesma região deste estudo, em que os níveis de Hg no solo não foram afetados pela proximidade de MAPEOs e também não possuíam valores acima dos limites estabelecidos. O teor de Hg encontrado nos solos pode ser atribuído a diversos fatores, como a deposição de material vegetal, deposição atmosférica ou uso de fertilizantes (Ma et al. 2019; Asaduzzaman et al. 2019; Wang et al., 2016).

A acumulação e retenção de Hg no solo depende das suas propriedades físicas e químicas, quantidade de matéria orgânica presente e de ligações químicas com grupos funcionais que fazem o Hg permanecer retido (Obrist et al., 2011; Obrist et al., 2018). Adjorlolo-Gasokpoh et al. (2012) analisaram os níveis de concentração total de Hg na superfície do solo e mandioca colhida em fazendas localizadas próximo às minas de ouro, em Gana. Os resultados, diferentemente dos encontrados no presente estudo, indicaram que a camada superficial do solo e as lavouras de mandioca estão fortemente contaminadas por Hg, mostrando que a cultura de mandioca em solos com elevadas concentrações de Hg deve ser evitada.

O fator de bioacumulação (BAF) indica a capacidade da planta de absorver o Hg do solo para os tecidos das folhas. Valores maiores que 1, indicam que a planta é considerada acumuladora (Napoli et al., 2018). Os valores de BAF das áreas avaliadas são menores que 1, evidenciando uma baixa transferência do metal do solo para as folhas da mandioca (e.g. Egler

et al., 2006;), reforçando que a maior concentração de Hg presente nas folhas pertencente a Área I é proveniente da atmosfera.

Os fatores de translocação (TF) obtidos para as áreas avaliadas foram maiores que 1, confirmando que ocorre a translocação do Hg da raiz para as partes aéreas das plantas. Entretanto, a maior concentração de Hg encontrada nas folhas da Área I não pode ser explicada apenas pela translocação, já que as concentrações de Hg no solo são iguais estatisticamente nas duas áreas, evidenciando a contribuição da absorção estomática pelas folhas para o armazenamento de Hg nas raízes. Esse fato reforça o efeito da maior deposição atmosférica sobre as folhas na área próxima à MAPEOs.

Entende-se que as folhas de mandioca podem ser usadas para bioindicar a emissão de Hg por MAPEOs, uma vez que a concentração de Hg na atmosfera dessas regiões tende a ser maior, afetando a concentração de Hg nas folhas dos vegetais (Casagrande et al., 2020; Liu et al., 2020; Esbrí et al., 2018; Zheng et al., 2018; Egler et al., 2006). Marrugo-Negrete et al. (2016) observaram que o fator de translocação não deve ser usado para caracterizar a capacidade das plantas de absorver Hg em áreas com altas taxas de emissões antropogênicas de Hg, pois nas áreas de MAPEOs as emissões atmosféricas devem ser consideradas como um fator significativo no aumento dos níveis Hg nas folhas.

O fator de bioconcentração (BCF), quando maior que 1, indica que a planta está concentrando o Hg do solo em suas raízes. O BCF calculado para a Área I foi maior em relação à Área II e, apenas na Área I o BCF foi maior que 1. Considerando que as concentrações de Hg nos solos das duas áreas são iguais, o fato do BCF da Área I ser maior que 1 confirma que as concentrações de Hg nas raízes advêm da maior deposição atmosférica de Hg devido à atividade garimpeira, evidenciando o papel das folhas na absorção do Hg e posterior bioconcentração nas raízes.

Destaca-se que, a concentração de Hg das raízes na Área I é 150% superior à da Área II, assim como a concentração de Hg nas folhas da primeira área é 83% superior à da segunda área, apesar das concentrações de Hg no solo das Áreas I e II não diferirem entre si, reforçando que as raízes de mandioca podem absorver o Hg tanto pelo solo, quanto pela atmosfera, por meio da absorção estomática e transporte para as raízes (Assad et al., 2016; Ma et al., 2019). Este resultado mostra que para a mandioca, o BCF pode evidenciar a deposição atmosférica em regiões com emissão antrópica de Hg, pois a absorção de Hg pelas folhas também pode afetar a concentração nas raízes, interferindo no BCF.

As raízes da mandioca cultivadas na Área I, onde a deposição de Hg atmosférico pode ser mais elevada, e o fator de bioconcentração é maior que 1, mostram a capacidade de

concentração deste metal na região da raiz a partir do solo e da atmosfera, e que, em determinadas condições, a mandioca pode ser uma via de risco de contaminação de Hg para a saúde humana que precisa ser considerada. Entende-se que quando o solo ou a atmosfera atingirem concentrações de Hg acima de determinados limites, a concentração na mandioca também poderá aumentar e atingir valores que afetem a qualidade do produto para o consumo.

Considerando que as folhas e as raízes da mandioca são alimentos consumidos mundialmente por milhões de pessoas e pela possibilidade de ser importante rota para a entrada do Hg na cadeia alimentar, os resultados evidenciam a necessidade do monitoramento deste metal em lavouras de mandioca localizadas nas proximidades de MAPEOs, que podem indicar a emissão do Hg por meio das concentrações encontradas em partes comestíveis da planta, como as folhas e raízes, devido à deposição atmosférica. Há estudos que relacionam as concentrações de Hg na mandioca e a proximidade das MAPEOs com a área de cultivo (Adjorlolo-Gasokpoh et al., 2012; Nyanza et al., 2014) e alertam para o aumento da concentração de Hg em alguns alimentos produzidos nas vizinhanças de MAPEOs. Ainda há estudo que relata a capacidade da mandioca de fitoextrair o Hg em solos contaminados (Alcântara et al., 2017). O monitoramento regular das concentrações de Hg em cultivos de mandioca próximos a MAPEOs pode ser útil para indicar restrições de cultivo quando os teores se tornarem críticos, evitando que a segurança do alimento seja afetada.

Os resultados reforçam ainda, a condição que certas plantas, incluindo as comerciais, podem ser usadas como potenciais bioindicadoras da presença de metais no meio ambiente (Casagrande et al., 2020; Casagrande et al., 2018; Salazar & Pignata, 2014; Esbrí et al., 2018). Assim, o uso de Hg pelas MAPEOs pode ser detectado pelas folhas e raízes da mandioca quando se compara os teores do metal presentes nas raízes e folhas entre plantas cultivadas na proximidade de MAPEOs com plantas coletadas em áreas sem histórico desta atividade. Portanto, protocolos de coleta e análise podem ser desenvolvidos de forma a usar a mandioca como auxiliar na fiscalização do uso irregular de Hg por MAPEOs.

#### *Avaliação de Risco à Saúde*

Os valores calculados de EDI e THQ (Tabela 3), tanto para a mandioca, quanto para a farinha de mandioca, não apresentam risco à saúde da população da região estudada, pois estiveram abaixo dos valores estabelecidos como limites. Ainda que abaixo dos limites estabelecidos, os maiores valores obtidos de EDI e THQ pertencem a Área I. Portanto, se faz necessário a investigação periódica desses fatores em lavouras próximas à MAPEOs devido à

possibilidade de aumento da contaminação por Hg com o tempo de atividade garimpeira ou com o aumento da intensidade desta atividade.

Para a avaliação de risco à saúde foram calculados a estimativa de ingestão diária (EDI) da população e o quociente de risco à saúde (THQ). Quando o valor de THQ obtido for maior que 1, indica um risco potencial à saúde devido à exposição ao Hg devido ao consumo de um alimento. Se o valor for inferior a 1, é considerado seguro, de acordo com o risco de efeitos não cancerígenos, sendo improvável que a população exposta à ingestão de Hg pelo consumo do alimento analisado tenha efeitos adversos à saúde (Eregno et al., 2017; Barone et al., 2018). Os resultados da EDI devem estar abaixo da ingestão diária tolerável provisória (PTDI) de  $0,57 \mu\text{g kg}^{-1}$  pessoa  $\text{dia}^{-1}$  estabelecida pela FAO/WHO *Expert Committee on Food Additives* (JEFCA, 2011; Marrugo-Negrete et al., 2020).

O consumo médio per capita de mandioca e farinha de mandioca no Brasil é de 9,0 e 8,0 g  $\text{dia}^{-1}$ , respectivamente. Para o 1º quarto da população, representado pela população de baixa renda, o consumo médio per capita de farinha de mandioca sobe para 13,2 g/dia. Para a região Norte o consumo médio per capita de farinha de mandioca é de 38,0 g/dia. Nos anos de 2017 e 2018 a frequência de consumo de farinha de mandioca foi quase três vezes maior na zona rural do que na zona urbana (IBGE, 2020).

Considerando que as raízes da mandioca bioconcentraram o Hg presente na atmosfera e no solo em que foram cultivadas e considerando um consumo diário de mandioca de 9,0 g  $\text{dia}^{-1}$  pessoa<sup>-1</sup>, pode-se estimar que apenas para raízes com concentrações médias de Hg a partir de  $14,06 \text{ mg kg}^{-1}$ , a EDI ficaria acima do limite estabelecido de  $0,57 \mu\text{g kg}^{-1}$  pessoa<sup>-1</sup>  $\text{dia}^{-1}$ . Nestas condições, o THQ será de 1,9, evidenciando o risco a saúde pelo consumo da mandioca em condições de solos e atmosfera contaminados por Hg. Alerta-se, portanto, que para o atual consumo médio per capita, as raízes de mandioca serão tóxicas apenas quando possuírem concentrações de Hg a partir de  $14,06 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Para a farinha de mandioca, os teores tóxicos de Hg são menores em relação a mandioca. Para farinha com concentrações a partir de  $4,99 \text{ mg kg}^{-1}$  os índices de EDI e THQ ficariam acima dos limites críticos, considerando um consumo diário de farinha de mandioca de 8,0 g  $\text{dia}^{-1}$  pessoa<sup>-1</sup>. Entende-se que com a perda de água no processo de fabricação da farinha a concentração de Hg aumenta e para consumir os mesmos teores de Hg, é necessário consumir mais mandioca do que farinha de mandioca. As concentrações limites de Hg em raízes para que a EDI e o THQ não apontem o risco à saúde pela exposição ao Hg varia conforme o consumo da população de interesse (Material suplementar -Tabela 1). Dentre as populações estimadas do Brasil, a população rural possui concentrações limites menores por

possuir o maior consumo, ainda assim, são altas concentrações. Já para as populações que são as maiores consumidoras de mandioca, do mundo, por possuírem consumo elevado da raiz, os teores limite de Hg são mais baixos e fáceis de serem atingidos em regiões próximas a MAPEOs. Assim, quanto maior o consumo, menor devem ser as concentrações de Hg para que seja seguro o consumo.

Destaque-se que para raízes com concentração média igual as raízes da Área I ( $92,35 \mu\text{g kg}^{-1}$  ou  $0,092 \text{ mg kg}^{-1}$ ), é seguro ingerir diariamente até 1.370g de mandioca e 432g de farinha de mandioca, assim o consumo não ultrapassará o limite estabelecido para EDI. No entanto, para que o quociente de risco à saúde (THQ) pela exposição ao Hg se mantenha  $< 1$ , é seguro consumir menos de 722g de mandioca e menos que 227g de farinha, limite que seria ultrapassado para uma população com o alto consumo médio como o da Angola (Material suplementar -Tabela 1). Compreende-se, portanto, que quanto maior a concentração de Hg presente nas raízes, menor será o consumo médio diário per capita limite para que seja seguro e a população não seja exposta ao Hg através do consumo de mandioca ou da farinha de mandioca (Material suplementar -Tabela 2).

As concentrações encontradas na mandioca não são risco para saúde da população da região estudada. Porém, isso ocorre devido ao baixo consumo médio da mandioca e da farinha de mandioca que, diferente de regiões onde o alimento é considerado de subsistência para a população, como por exemplo, em Angola, onde o consumo diário por pessoa é de cerca de 787g e chegam até 800g em alguns países (SEBRAE, 2008; Burns et al., 2010). Com o alto consumo de 800g de mandioca, as raízes podem apresentar até  $158 \mu\text{g kg}^{-1}$  de Hg para que a EDI se mantenha abaixo do limite estabelecido. No entanto, para que o THQ pela exposição ao Hg se mantenha  $< 1$ , as raízes devem apresentar até  $83 \mu\text{g kg}^{-1}$ , concentração menor que o presente estudo em área próxima à MAPEO. Portanto, alerta-se que mandiocas cultivadas em regiões próximas à MAPEOs, em que a concentração de Hg na atmosfera e no solo tendem a aumentar devido a atividade de garimpeira, associado ao alto consumo de mandioca ou farinha de mandioca pela população, deve ocorrer o monitoramento para evitar que teores de Hg representem risco à saúde devido a exposição ao Hg.

Outro destaque é para o consumo das folhas de mandioca produzidas próximas às regiões de MAPEO. Ainda que na região do estudo o consumo diário de folhas seja baixo, a folha é ingrediente essencial de um prato típico na região norte do Brasil, mas compõe, principalmente, a alimentação de 60% da população de países da África Subsaariana. Apesar da raiz ser o principal produto, as folhas de mandioca são uma fonte de proteínas, rica em minerais e vitaminas, utilizadas como suplemento alimentar e na fabricação de ração animal.

Em alguns países o consumo diário de folhas de mandioca pode chegar até 500g por pessoa (Latif & Müller, 2015; Achadi et al., 2006). Com os resultados do presente estudo, entende-se que as folhas de mandioca cultivadas próximas à área de exploração de ouro podem conter concentrações maiores de Hg devido à deposição atmosférica do metal emitido pelas MAPEOs e, em determinadas condições, as partes comestíveis podem apresentar teores de mercúrio acima dos valores críticos, prejudicando a saúde da população. Importante destacar que a segurança advém da média diária de consumo de folha pela população, assim, em regiões de cultivos de mandioca próximos à MAPEOs, o alto consumo de folhas de mandioca pode oferecer risco à saúde mesmo em concentrações abaixo dos limites estabelecidos.

## **Conclusão**

As concentrações de Hg nas plantas de mandioca foram maiores na área próxima as MAPEOs. A diferença entre as concentrações de Hg nas folhas de mandioca cultivadas nas proximidades de uma fonte de emissão e as folhas de mandioca cultivada em uma área sem histórico recente de emissão de Hg por MAPEOs permitiu estimar o efeito de MAPEOs na deposição atmosférica do Hg em uma região. Dessa forma, admite-se que a mandioca tem potencial uso como bioindicadora da deposição atmosférica de Hg emitido por MAPEO. O BCT maior que 1 na área próxima a MAPEOs evidenciou o efeito da proximidade das MAPEOs também sobre as concentrações de Hg nas raízes da mandioca. O uso de Hg pelas MAPEOs pode ser detectado pelas folhas e raízes da mandioca sendo que protocolos de coleta e análise podem ser desenvolvidos para facilitar a fiscalização do uso irregular de Hg usando a mandioca como bioindicadora.

O consumo de mandioca e de farinha de mandioca pela população da região avaliada não representa um risco à saúde devido o baixo consumo médio per capita da população da região. Estipula-se que para a população da região o consumo de mandioca é seguro até cerca de 722 g dia<sup>-1</sup> pessoa<sup>-1</sup> e farinha de mandioca, cerca de 227g dia<sup>-1</sup> pessoa<sup>-1</sup>. Para o atual consumo da população, as raízes são tóxicas com teores a partir de 14,06 mg kg<sup>-1</sup> e para a farinha de mandioca cerca de 4,99 mg kg<sup>-1</sup>. Reforça-se a necessidade de monitoramento periódico das concentrações de Hg em plantas cultivadas comercialmente, de modo a evitar a produção de alimentos contaminados pelo metal. Alerta-se, ainda, sobre o consumo das folhas de mandioca cultivadas em áreas de mineração, visto que a deposição atmosférica aumenta consideravelmente as concentrações de Hg presentes nas folhas e pode se tornar uma via direta para contaminação da população que as consomem.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - FAPEMAT, à Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Código 001).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achidi, A. U., Ajayi, O. A., Bokanga, M., & Maziya-Dixon, B. (2005). The use of cassava leaves as food in Africa. *Ecology of Food and Nutrition*, 44(6), 423-435. <https://doi.org/10.1080/03670240500348771>

Adjorlolo-Gasokpoh, A., Golow, A. A., Kambo-Dorsa, J. (2012) Mercury in the surface soil and cassava, *Manihot esculenta* (flesh, leaves and peel) near goldmines at Bogoso and Prestea, Ghana. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 8(6), 1106-1110. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0849-7>

Akagi, H., & Nishimura, H. (1991). Speciation of mercury in the environment. In *Advances in Mercury Toxicology* (pp. 53-76). Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9071-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9071-9_3)

Alcantara, H. J. P., Doronila, A. I., & Kolev, S. D. (2017). Phytoextraction potential of *Manihot esculenta* Crantz. (cassava) grown in mercury-and gold-containing biosolids and mine tailings. *Minerals Engineering*, 114, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.09.010>

Ariya, P. A., Amyot, M., Dastoor, A., Deeds, D., Feinberg, A., Kos, G., Poulain, A., Ryjkov, A., Semeniuk, K., Subir, M. & Toyota, K. (2015). Mercury physicochemical and biogeochemical transformation in the atmosphere and at atmospheric interfaces: a review and future directions. *Chemical Reviews*, 115(10), 3760-3802. <https://doi.org/10.1021/cr500667e>

Asaduzzaman, A., Riccardi, D., Afaneh, A. T., Cooper, S. J., Smith, J. C., Wang, F., Parques, J. M. & Schreckenbach, G. (2019). Environmental mercury chemistry—in silico. *Accounts of Chemical Research*, 52(2), 379-388. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00454>

Assad, M., Parelle, J., Cazaux, D., Gimbert, F., Chalot, M., & Tatin-Froux, F. (2016). Absorção de mercúrio em folhas de álamo. *Chemosphere*, 146, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.103>

Azevedo, F. A., Nascimento, E. S. & Chasin, A. A. M. (2003). Mercúrio. In Azevedo, F. D., & Chasin, A. D. M (Eds.). *Metais: gerenciamento da toxicidade*. Editora Atheneu (pp. 299-352). São Paulo.

Bank, M. S. (2020). The mercury science-policy interface: history, evolution and progress of the Minamata Convention. *Science of the Total Environment*, 722, 137832. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137832>.

Barone, G., Dambrosio, A., Storelli, A., Garofalo, R., Busco, V. P., & Storelli, M. M. (2018). Estimated dietary intake of trace metals from swordfish consumption: a human health problem. *Toxics*, 6(2), 22. <https://doi.org/10.3390/toxics6020022>

Bose-O'Reilly, S., Schierl, R., Nowak, D., Siebert, U., William, J. F., Owi, F. T., & Ir, Y. I. (2016). A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia. *Environmental Research*, 149, 274-281. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.04.007>

BRASIL (2020). Agência Nacional de Mineração. *Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas*. – Brasília. [https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb\\_2020\\_ano\\_base\\_2019\\_revisada2\\_28\\_09.pdf](https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2020_ano_base_2019_revisada2_28_09.pdf). Accessed 20 dez 2021

BRASIL (2002). Ministério do Meio Ambiente. *Diagnóstico do setor mineral de Mato Grosso*. <http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/406547/Diagn%C3%B3stico+do+Setor+Mineral+do+Estado+de+Mato+Grosso.pdf/b235c14b-48bd-a0c6-54c8-e5ec1a94fdb?version=1.0..> Accessed 13 nov 2021.

BRASIL (2008). Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. *Guia alimentar para a população brasileira : promovendo a alimentação saudável*. Ministério da Saúde (pp. 210). Brasília . [https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/guia\\_alimentar\\_populacao\\_brasileira\\_2008.pdf](https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2008.pdf). Accessed 20 nov 2021.

Burns, A., Gleadow, R., Cliff, J., Zacarias, A., & Cavagnaro, T. (2010). Cassava: the drought, war and famine crop in a changing world. *Sustainability*, 2(11), 3572-3607. <https://doi.org/10.3390/su2113572>

Casagrande, G. C. R., dos Reis, C., Arruda, R., de Andrade, R. L. T., & Battirola, L. D. (2018). Bioaccumulation and biosorption of mercury by *Salvinia biloba* Raddi (Salviniaceae). *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(5), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3819-9>

Casagrande, G. C. R., de Mello Franco, D. N., Moreno, M. I. C., de Andrade, E. A., Battirola, L. D., & de Andrade, R. L. T. (2020). Assessment of atmospheric mercury deposition in the vicinity of artisanal and small-scale gold mines using *Glycine max* as bioindicators. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(11), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04918-y>

Chandra, R., Yadav, S., & Yadav, S. (2017). Phytoextraction potential of heavy metals by native wetland plants growing on chlorolignin containing sludge of pulp and paper industry. *Ecological Engineering*, 98, 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.017>

Cheng, Z., Wang, H. S., Du, J., Sthiannopkao, S., Xing, G. H., Kim, K. W., Yasin, M. S. M., Hashim, J. H. & Wong, M. H. (2013). Dietary exposure and risk assessment of mercury via total diet study in Cambodia. *Chemosphere*, 92(1), 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.025>

Coêlho, J. D. & Ximenes, L. F. (2020). Mandioca e seus derivados. *Caderno Setorial ETENE*. [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/617/3/2020\\_CDS\\_128.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/617/3/2020_CDS_128.pdf). Accessed 12 oct 2021.

Egler, S. G., Rodrigues-Filho, S., Villas-Bôas, R. C., & Beinhoff, C. (2006). Evaluation of mercury pollution in cultivated and wild plants from two small communities of the Tapajós gold mining reserve, Pará State, Brazil. *Science of the Total Environment*, 368(1), 424-433. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.037>

EMBRAPA. *Maniva: a folha moída que vira iguaria gastronômica*. <https://www.embrapa.br/embrapa-no-cirio/maniva>. Accessed 15 nov 2021.

Eregno, F. E., Moges, M. E., & Heistad, A. (2017). Treated greywater reuse for hydroponic lettuce production in a green wall system: quantitative health risk assessment. *Water*, 9(7), 454. <https://doi.org/10.3390/w9070454>

Esbrí, J. M., Cacovean, H., & Higuera, P. (2018). Usage Proposal of a common urban decorative tree (*Salix alba* L.) to monitor the dispersion of gaseous mercury: a case study from Turda (Romania). *Chemosphere*, 193, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.007>

Filgueiras, G. C. & Homma, A. K. O. (2016). Aspectos socioeconômicos da cultura da mandioca na região norte. In Modesto Júnior, M. S. & Alves, R. N. B. *Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria*, Embrapa. Brasília. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1056645/1/LVMandiocacap1.pdf>. Accessed 13 nov 2021.

Ghasemidehkordi, B., Malekirad, A. A., Nazem, H., Fazilati, M., Salavati, H., Shariatifar, N., Rezaei, M., Fakhri, Y. & Khaneghah, A. M. (2018). Concentration of lead and mercury in collected vegetables and herbs from Markazi province, Iran: a non-carcinogenic risk assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 113, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.048>

Guimarães, F. A. M. (2016). A cultura da mandioca no Brasil e no mundo: um caso de roubo da história dos povos indígenas. *VII Encontro Estadual de História. Bahia: ANPUH BA*. [http://snh2013.anpuh.org/resources/anais/49/1477769638\\_ARQUIVO\\_artigoFranciscoGuimaraes.pdf](http://snh2013.anpuh.org/resources/anais/49/1477769638_ARQUIVO_artigoFranciscoGuimaraes.pdf). Accessed 10 mar 2022.

IBGE (2021). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/peixoto-de-azevedo/panorama>. Accessed 25 jul 2021.

IBGE (2020). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil*. Rio de Janeiro. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101670.pdf>. Accessed 10 nov 2021.

JECFA (2011). Evaluation of certain food additives and contaminants. *72th Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive*. WHO Technical Report Series 959. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44514>. Accessed 15 nov 2021.

Latif, S., & Müller, J. (2015). Potential of cassava leaves in human nutrition: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.006>

León-Cañedo, J. A., Alarcón-Silvas, S. G., Fierro-Sañudo, J. F., de Oca, G. A. R. M., Partida-Ruvalcaba, L., Díaz-Valdés, T., & Páez-Osuna, F. (2019). Mercury and other trace metals in lettuce (*Lactuca sativa*) grown with two low-salinity shrimp effluents: accumulation and human health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 650, 2535-2544. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.003>

Liang, G., Gong, W., Li, B., Zuo, J., Pan, L., & Liu, X. (2019). Analysis of heavy metals in foodstuffs and an assessment of the health risks to the general public via consumption in Beijing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 909. <https://doi.org/10.3390/ijerph16060909>

Liu, W., Li, M., Zhang, M., Wang, D., Guo, Z., Long, S., Yang, S., Wang, H., Li, W., Hu, Y., Wei, Y., & Xiao, H. (2020). Estimating leaf mercury content in *Phragmites australis* based on leaf hyperspectral reflectance. *Ecosystem Health and Sustainability*, 6(1), 1726211. <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1726211>

Lovato, D. M. C (2017). Análise da abordagem territorial rural no território Portal da Amazônia: exemplo de Terra Nova do Norte, Mato Grosso. *Revista Política e Planejamento Regional*, 4, 31-51. . ISSN 2358-4556. <http://revistappr.com.br/artigos/publicados/Analise-da-abordagem-territorial-rural-no-Territorio-Portal-da-Amazonia-exemplo-de-Terra-Nova-do-Norte-Mato-Grosso.pdf>. Accessed 22 jan. 2022.

Ma, M., Du, H., & Wang, D. (2019). A new perspective is required to understand the role of forest ecosystems in global mercury cycle: a review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(5), 650-656. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02569-2>

Marrugo-Negrete, J., Durango-Hernández, J., Díaz-Fernández, L., Urango-Cárdenas, I., Araméndiz-Tatis, H., Vergara-Flórez, V., Bravo, A.G & Díez, S. (2020). Transfer and bioaccumulation of mercury from soil in cowpea in gold mining sites. *Chemosphere*, 250, 126142. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126142>

Marrugo-Negrete, J., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J., & Díez, S. (2016). Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site. *Science of the Total Environment*, 542, 809-816. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.117>

Napoli, M., Cecchi, S., Grassi, C., Baldi, A., Zanchi, C. A., & Orlandini, S. (2019). Phytoextraction of copper from a contaminated soil using arable and vegetable crops. *Chemosphere*, 219, 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.017>

Neto, A N., Costa, L. M., Kikuchi, A. N. S., Furtado, D. M. S., Araujo, M. Q., & Melo, M. C. C. (2012). Method validation for the determination of total mercury in fish muscle by cold vapour atomic absorption spectrometry. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(4), 617-624. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.642009>

Nyanza, E. C., Dewey, D., Thomas, D. S., Davey, M., & Ngallaba, S. E. (2014). Spatial distribution of mercury and arsenic levels in water, soil and cassava plants in a community

with long history of gold mining in Tanzania. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 93(6), 716-721.

<https://doi.org/10.1007/s00128-014-1315-5>

Obrist, D., Johnson, D. W., Lindberg, S. E., Luo, Y., Hararuk, O., Bracho, R., Battles, J. J., Dail, D. B., Edmonds, R. L., Monson, R. K., Olliger, S. V., Pallardy, S. G., Pregitzer, K. S. & Todd, D. E. (2011). Mercury distribution across 14 US forests. Part I: Spatial patterns of concentrations in biomass, litter, and soils. *Environmental Science & Technology*, 45(9), 3974-3981. <https://doi.org/10.1021/es104384m>

Obrist, D., Kirk, J. L., Zhang, L., Sunderland, E. M., Jiskra, M., & Selin, N. E. (2018). A review of global environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: changes of emissions, climate, and land use. *Ambio*, 47(2), 116-140. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1004-9>

Saiz-Lopez, A., Sitkiewicz, S. P., Roca-Sanjuán, D., Oliva-Enrich, J. M., Dávalos, J. Z., Notario, R., Jiskra, M., Xu, Y., Wang, F., Thackray, C. P., Sunderland, E. M., Jacob, D. J., Travnikov, O., Cuevas C. A., Acuña, A. U., Rio, D., Avião, J. M., Kinnison, D. E., & Sonke, J. E. (2018). Photoreduction of gaseous oxidized mercury changes global atmospheric mercury speciation, transport and deposition. *Nature Communications*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07075-3>

Salazar, M. J., & Pignata, M. L. (2014). Lead accumulation in plants grown in polluted soils. Screening of native species for phytoremediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 137, 29-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.11.003>

SEBRAE (2008). *Estudo de mercado sobre a mandioca (farinha e fécula)*. <http://atividaderural.com.br/artigos/5602f3e181880.pdf>. Accessed 24 oct 2021.

Sommar, J., Osterwalder, S., & Zhu, W. (2020). Recent advances in understanding and measurement of Hg in the environment: Surface-atmosphere exchange of gaseous elemental mercury (Hg<sup>0</sup>). *Science of the Total Environment*, 721, 137648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137648>

Torkaman, P., Veiga, M. M., de Andrade Lima, L. R. P., Oliveira, L. A., Motta, J. S., Jesus, J. L., & Lavkulich, L. M. (2021). Leaching gold with cassava: an option to eliminate mercury use in artisanal gold mining. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127531>

Turkyilmaz, A., Sevik, H., Cetin, M., & Ahmaida Saleh, E. A. (2018). Changes in heavy metal accumulation depending on traffic density in some landscape plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27 (5). <https://doi.org/10.15244/pjoes/78620>

UNEP (2002). Global mercury assessment – 2002. *U.N. Environment Programme, chemicals*. Geneva, Switzerland. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/12297>. Accessed 21 oct 2021.

UNEP (2019). Global mercury assessment – 2018. *U.N. Environment Programme, Chemicals and Health Branch*. Geneva, Switzerland. ISBN: 978-92-807-3744-8.

<https://www.unenvironment.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018>.

Accessed 21 oct 2021.

Wang, Q., Zhang, J., Xin, X., Zhao, B., Ma, D., & Zhang, H. (2016). The accumulation and transfer of arsenic and mercury in the soil under a long-term fertilization treatment. *Journal of Soils and Sediments*, 16(2), 427-437. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1227-y>

Zheng, S. A., Wu, Z., Chen, C., Liang, J., Huang, H., & Zheng, X. (2018). Evaluation of leafy vegetables as bioindicators of gaseous mercury pollution in sewage-irrigated areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1), 413-421. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0438-8>

## Material Suplementar

**Tabela 1** Concentrações limites em raízes de mandioca de acordo com o consumo médio de mandioca e farinha de mandioca de cada população.

População	Consumo médio per capita (g dia <sup>-1</sup> )		[Hg] <sub>limite</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )			
			EDI		THQ	
	Mandioca	Farinha	Mandioca	Farinha	Mandioca	Farinha
Baixa renda do Brasil <sup>1</sup>	7	13,2	18,08	3,02	9,51	1,59
Rural do Brasil <sup>1</sup>	15,2	18,4	8,32	2,17	4,38	1,14
Urbana do Brasil <sup>1</sup>	8	6,3	15,82	6,33	8,32	3,33
Região Norte <sup>1</sup>	5	38	25,31	1,05	13,32	0,55
Região Nordeste <sup>1</sup>	13,7	14,3	9,24	2,79	4,86	1,47
Região Sudeste <sup>1</sup>	4,5	1,7	28,12	23,47	14,80	12,35
Região Sul <sup>1</sup>	14,7	0,6	8,61	66,50	4,53	35,00
Região Centro Oeste <sup>1</sup>	11,5	3	11,00	13,30	5,79	7,00
Brasil <sup>1</sup>	9	8	14,06	4,99	7,40	2,63
Angola <sup>2</sup>	787,4	-	0,16	-	0,08	-
Moçambique <sup>2</sup>	680,5	-	0,19	-	0,10	-
República Dem. do Congo <sup>2</sup>	652,7	-	0,19	-	0,10	-
República do Congo <sup>2</sup>	636,9	-	0,20	-	0,10	-
Gana <sup>2</sup>	545,9	-	0,23	-	0,12	-

<sup>1</sup>IBGE (2020) e <sup>2</sup> SEBRAE (2008)

**Tabela 2** Consumos médio limites de mandioca e farinha de mandioca em raízes de mandioca para concentrações de 100  $\mu\text{g kg}^{-1}$  a 1000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de Hg.

Concentração ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )*	Consumo médio per capita (g dia-1)			
	EDI		THQ	
	Mandioca	Farinha	Mandioca	Farinha
100	1.265,40	399,00	666,00	210,00
200	632,70	199,50	333,00	105,00
300	421,80	133,00	222,00	70,00
400	316,35	99,75	166,50	52,50
500	253,08	79,80	133,20	42,00
600	210,90	66,50	111,00	35,00
700	180,77	57,00	95,14	30,00
800	158,17	49,88	83,25	26,25
900	140,60	44,33	74,00	23,33
1000	126,54	39,90	66,60	21,00

\*1  $\text{mg kg}^{-1}$  equivale a 1000  $\mu\text{g kg}^{-1}$

## ANEXO A

Normas do Periódico Environmental Monitoring and Assessment, no qual o capítulo I será submetido.

### Artigos de pesquisa originais

#### Resumo

O Resumo deve conter de 150 a 250 palavras. Deve explicar claramente a novidade dos resultados versus o conhecimento atual. O Resumo não deve conter abreviaturas indefinidas ou referências não especificadas.

#### Palavras-chave

Isso deve incluir de 4 a 6 palavras-chave que podem ser usadas para fins de indexação.

#### Texto

O texto dos artigos de pesquisa originais deve ser dividido nas seguintes seções:

#### Introdução

A Introdução deve indicar o objetivo da investigação e identificar claramente a lacuna de conhecimento que será preenchida neste estudo.

#### Materiais e métodos

A seção de Materiais e Métodos deve fornecer informações suficientes para permitir a repetição do trabalho experimental. Deve incluir descrições e explicações claras dos procedimentos de amostragem, desenho experimental, características essenciais da amostra e estatística descritiva, hipótese testada, referências exatas à literatura descrevendo os testes usados no manuscrito, número de dados envolvidos nos testes estatísticos, etc.

#### Resultados e discussão

A seção Resultados deve descrever o resultado do estudo. Os dados devem ser apresentados da forma mais concisa possível - se apropriado na forma de tabelas ou figuras, embora tabelas muito grandes devam ser evitadas. A Discussão deve ser uma interpretação dos resultados e sua significância com referência a trabalhos de outros autores.

#### Conclusões

Esta seção deve destacar as principais descobertas firmes e indicar qual é o valor agregado da descoberta principal, sem referências da literatura.

#### Referências

A revista usa o estilo de referência APA. Consulte Referências para obter mais detalhes.

#### Apêndices

Se houver mais de um apêndice, eles devem ser numerados consecutivamente. As equações nos apêndices devem ser designadas de forma diferente daquelas no corpo principal do artigo, por exemplo (A1), (A2) etc. Em cada apêndice as equações devem ser numeradas separadamente.

Folha de rosto

Certifique-se de que sua página de título contenha as seguintes informações.

Título

O título deve ser conciso e informativo.

Informação sobre o autor

- O(s) nome(s) do(s) autor(es)
- A afiliação(ões) do(s) autor(es), ou seja, instituição, (departamento), cidade, (estado), país
- Uma indicação clara e um endereço de e-mail ativo do autor correspondente
- Se disponível, o ORCID de 16 dígitos do(s) autor(es)

Se as informações de endereço forem fornecidas com a(s) afiliação(ões), elas também serão publicadas.

Para autores que estão (temporariamente) não afiliados, apenas capturamos sua cidade e país de residência, não seu endereço de e-mail, a menos que seja especificamente solicitado.

Resumo

Forneça um resumo de 150 a 250 palavras. O resumo não deve conter abreviaturas indefinidas ou referências não especificadas.

*Apenas para revistas de ciências da vida (quando aplicável)*

- Número de registro do ensaio e data de registro para ensaios registrados prospectivamente
- Número de registro do ensaio e data do registro, seguidos de “registrado retrospectivamente”, para ensaios registrados retrospectivamente

Palavras-chave

Forneça de 4 a 6 palavras-chave que podem ser usadas para fins de indexação.

Declarações e Declarações

As seguintes declarações devem ser incluídas sob o título "Declarações e Declarações" para inclusão no artigo publicado. Observe que os envios que não incluem declarações relevantes serão devolvidos como incompletos.

- Interesses concorrentes: Os autores são obrigados a divulgar interesses financeiros ou não financeiros que estejam direta ou indiretamente relacionados ao trabalho

submetido para publicação. Consulte “Participações Concorrentes e Financiamento” abaixo para obter mais informações sobre como preencher esta seção.

Consulte as seções relevantes nas diretrizes de submissão para obter mais informações, bem como vários exemplos de redação. Por favor, revise/personalize as declarações de amostra de acordo com suas próprias necessidades.

#### Texto

#### Formatação de texto

Os manuscritos devem ser submetidos em Word.

- Use uma fonte normal e simples (por exemplo, Times Roman de 10 pontos) para o texto.
- Use itálico para dar ênfase.
- Use a função de numeração automática de páginas para numerar as páginas.
- Não use funções de campo.
- Use paradas de tabulação ou outros comandos para recuos, não a barra de espaço.
- Use a função de tabela, não planilhas, para fazer tabelas.
- Use o editor de equações ou MathType para equações.
- Salve seu arquivo em formato docx (Word 2007 ou superior) ou formato doc (versões mais antigas do Word).

Manuscritos com conteúdo matemático também podem ser submetidos em LaTeX. Recomendamos usar [o template LaTeX da Springer Nature](#).

#### Títulos

Não use mais de três níveis de títulos exibidos.

#### Abreviaturas

As abreviaturas devem ser definidas na primeira menção e usadas consistentemente depois.

#### Notas de rodapé

As notas de rodapé podem ser usadas para fornecer informações adicionais, que podem incluir a citação de uma referência incluída na lista de referências. Eles não devem consistir apenas em uma citação de referência, e nunca devem incluir os detalhes bibliográficos de uma referência. Também não devem conter figuras ou tabelas.

As notas de rodapé ao texto são numeradas consecutivamente; aqueles para tabelas devem ser indicados por letras minúsculas sobrescritas (ou asteriscos para valores de significância e outros dados estatísticos). As notas de rodapé ao título ou aos autores do artigo não recebem símbolos de referência.

Sempre use notas de rodapé em vez de notas de fim.

#### Agradecimentos

Agradecimentos de pessoas, subsídios, fundos, etc. devem ser colocados em uma seção separada na página de rosto. Os nomes das organizações financiadoras devem ser escritos por extenso.

#### Texto de solicitação adicional

- Todos os arquivos manuscritos devem ser formatados para conter números de linha.
- As citações com mais de 40 palavras devem ser destacadas de forma clara, seja recuando a margem esquerda ou usando um tipo de letra menor. Use aspas duplas para citações diretas e aspas simples para citações dentro de citações e para palavras ou frases usadas em um sentido especial.

#### Instruções adicionais Títulos

Cabeçalhos de nível um: digitados em negrito, minúsculas, exceto a primeira letra da primeira palavra, justificados à esquerda, seguidos por uma linha em branco

Cabeçalhos de nível dois: digitados em fonte normal, minúsculas, exceto a primeira letra da primeira palavra, justificados à esquerda, seguidos por uma linha em branco

NÃO numerar títulos e subtítulos.

#### Referências

##### Citação

Cite referências no texto por nome e ano entre parênteses. Alguns exemplos:

- A pesquisa em negociação abrange muitas disciplinas (Thompson, 1990).
- Este resultado foi posteriormente contrariado por Becker e Seligman (1996).
- Este efeito tem sido amplamente estudado (Abbott, 1991; Barakat et al., 1995; Kelso & Smith, 1998; Medvec et al., 1999).

Os autores são incentivados a seguir as diretrizes oficiais da versão 7 da APA sobre o número de autores incluídos nas entradas da lista de referências (ou seja, incluir todos os autores até 20; para grupos maiores, fornecer os primeiros 19 nomes seguidos de reticências e o nome final do autor). No entanto, se os autores encurtarem o grupo de autores usando et al., isso será mantido.

#### Lista de referência

A lista de referências deve incluir apenas trabalhos citados no texto e que tenham sido publicados ou aceitos para publicação. Comunicações pessoais e trabalhos inéditos devem ser mencionados apenas no texto.

As entradas da lista de referências devem ser ordenadas alfabeticamente pelos sobrenomes do primeiro autor de cada trabalho.

Os nomes dos periódicos e os títulos dos livros devem estar *em itálico* .

Se disponível, inclua sempre DOIs como links completos de DOI em sua lista de referência (por exemplo, “<https://doi.org/abc>”).

- Journal article Grady, J. S., Her, M., Moreno, G., Perez, C., & Yelinek, J. (2019). Emotions in storybooks: A comparison of storybooks that represent ethnic and racial groups in the United States. *Psychology of Popular Media Culture*, 8(3), 207–217. <https://doi.org/10.1037/ppm0000185>
- Article by DOI Hong, I., Knox, S., Pryor, L., Mroz, T. M., Graham, J., Shields, M. F., & Reistetter, T. A. (2020). Is referral to home health rehabilitation following inpatient rehabilitation facility associated with 90-day hospital readmission for adult patients with stroke? *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001435>
- Book Sapolsky, R. M. (2017). *Behave: The biology of humans at our best and worst*. Penguin Books.
- Book chapter Dillard, J. P. (2020). Currents in the study of persuasion. In M. B. Oliver, A. A. Raney, & J. Bryant (Eds.), *Media effects: Advances in theory and research* (4th ed., pp. 115–129). Routledge.
- Online document Fagan, J. (2019, March 25). *Nursing clinical brain*. OER Commons. Retrieved January 7, 2020, from <https://www.oercommons.org/authoring/53029-nursing-clinical-brain/view>

#### Tabelas

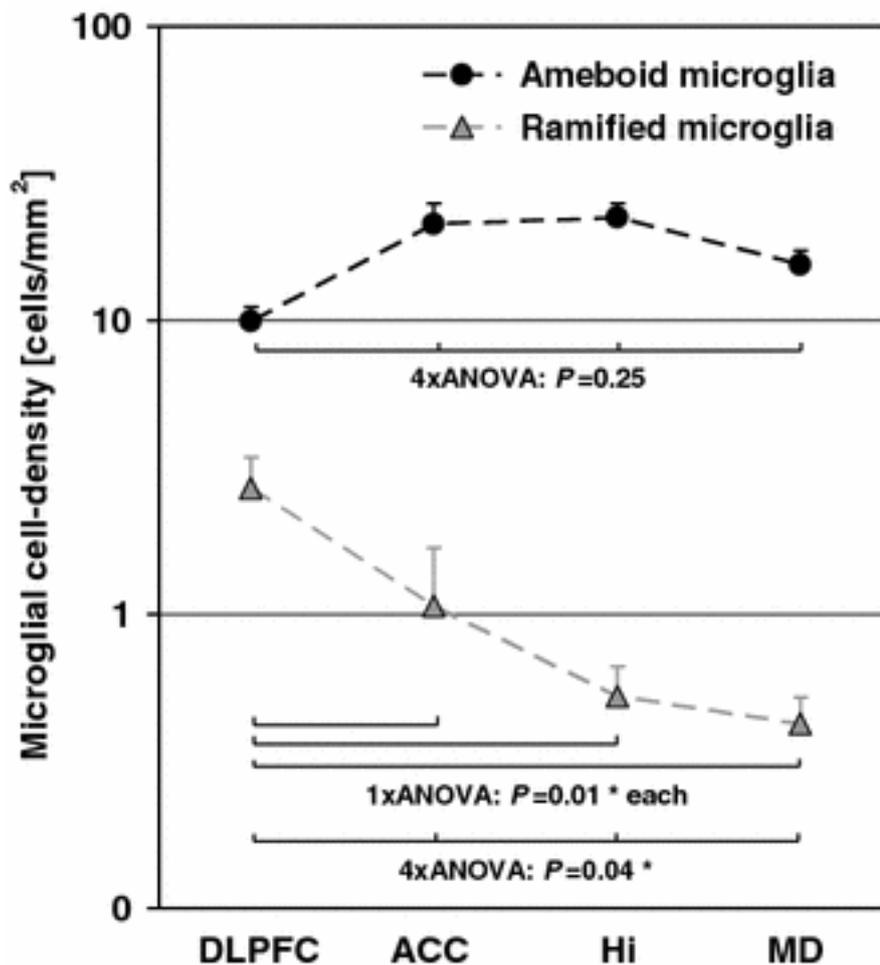
- Todas as tabelas devem ser numeradas com algarismos arábicos.
- As tabelas devem sempre ser citadas no texto em ordem numérica consecutiva.
- Para cada tabela, forneça uma legenda (título) explicando os componentes da tabela.
- Identifique qualquer material publicado anteriormente, fornecendo a fonte original na forma de uma referência no final da legenda da tabela.
- As notas de rodapé das tabelas devem ser indicadas por letras minúsculas sobrescritas (ou asteriscos para valores de significância e outros dados estatísticos) e incluídas abaixo do corpo da tabela.

#### Diretrizes de arte e ilustrações

#### Envio de Figura Eletrônica

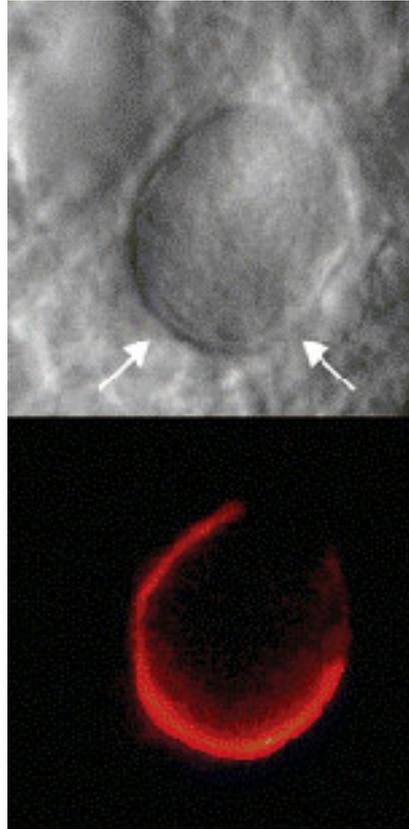
- Forneça todas as figuras eletronicamente.
- Indique qual programa gráfico foi usado para criar a arte.
- Para gráficos vetoriais, o formato preferido é EPS; para meios-tons, use o formato TIFF. Arquivos do MSOffice também são aceitáveis.
- Gráficos vetoriais contendo fontes devem ter as fontes incorporadas nos arquivos.
- Nomeie seus arquivos de figura com "Fig" e o número da figura, por exemplo, Fig1.eps.

Linha artística



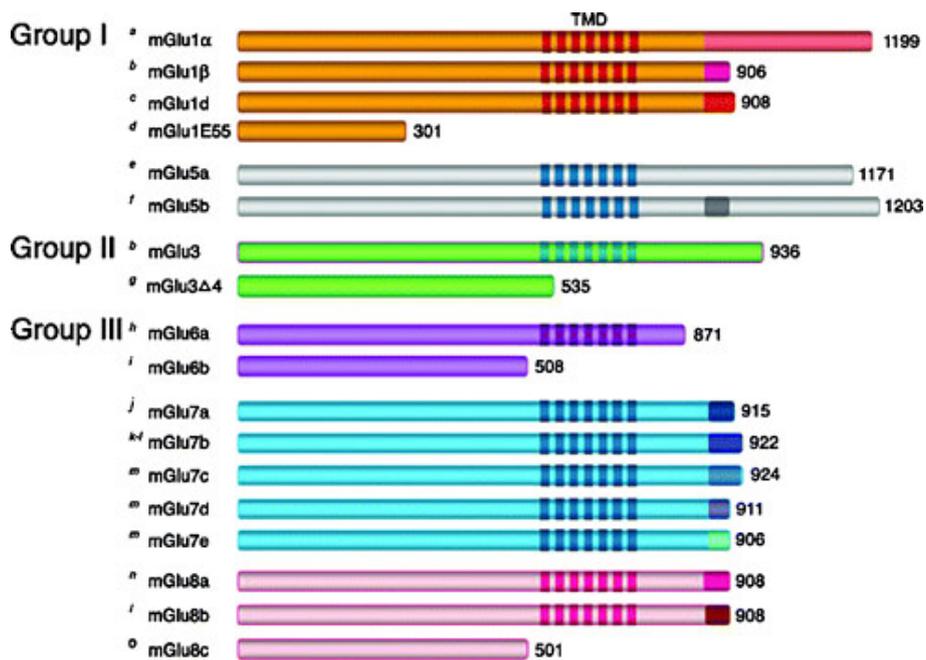
- Definição: Gráfico preto e branco sem sombreamento.
- Não use linhas e/ou letras fracas e verifique se todas as linhas e letras dentro das figuras estão legíveis no tamanho final.
- Todas as linhas devem ter pelo menos 0,1 mm (0,3 pt) de largura.
- Desenhos de linha digitalizados e desenhos de linha em formato bitmap devem ter uma resolução mínima de 1200 dpi.
- Gráficos vetoriais contendo fontes devem ter as fontes incorporadas nos arquivos.

Arte de meio-tom



- Definição: Fotografias, desenhos ou pinturas com sombreamento fino, etc.
- Se alguma ampliação for usada nas fotografias, indique isso usando barras de escala dentro das próprias figuras.
- Os meios-tons devem ter uma resolução mínima de 300 dpi.

#### Arte Combinada



- Definição: uma combinação de meio-tom e arte de linha, por exemplo, meio-tom contendo desenho de linha, letras extensas, diagramas de cores, etc.
- A arte combinada deve ter uma resolução mínima de 600 dpi.

#### Arte colorida

- A arte colorida é gratuita para publicação online.
- Se for mostrado preto e branco na versão impressa, certifique-se de que as informações principais ainda estejam visíveis. Muitas cores não são distinguíveis umas das outras quando convertidas em preto e branco. Uma maneira simples de verificar isso é fazer uma cópia xerográfica para ver se as distinções necessárias entre as diferentes cores ainda são aparentes.
- Se as figuras forem impressas em preto e branco, não se refira à cor nas legendas.
- As ilustrações coloridas devem ser enviadas em RGB (8 bits por canal).

#### Letras de figuras

- Para adicionar letras, é melhor usar Helvetica ou Arial (fontes sem serifa).
- Mantenha as letras dimensionadas de forma consistente em toda a sua arte de tamanho final, geralmente cerca de 2 a 3 mm (8 a 12 pt).
- A variação do tamanho do tipo em uma ilustração deve ser mínima, por exemplo, não use tipo 8 pt em um eixo e tipo 20 pt para o rótulo do eixo.
- Evite efeitos como sombreamento, letras de contorno, etc.
- Não inclua títulos ou legendas em suas ilustrações.

#### Numeração de Figuras

- Todas as figuras devem ser numeradas com algarismos arábicos.
- As figuras devem sempre ser citadas no texto em ordem numérica consecutiva.
- As partes da figura devem ser indicadas por letras minúsculas (a, b, c, etc.).
- Se um apêndice aparecer em seu artigo e contiver uma ou mais figuras, continue a numeração consecutiva do texto principal. Não numerar as figuras do apêndice "A1, A2, A3, etc." As figuras nos apêndices online [Informações Suplementares (SI)] devem, no entanto, ser numeradas separadamente.

#### Legendas das Figuras

- Cada figura deve ter uma legenda concisa descrevendo com precisão o que a figura representa. Incluir as legendas no arquivo de texto do manuscrito, não no arquivo de figura.
- As legendas das figuras começam com o termo Fig. em negrito, seguido do número da figura, também em negrito.

- Nenhuma pontuação deve ser incluída após o número, nem qualquer pontuação deve ser colocada no final da legenda.
- Identifique todos os elementos encontrados na figura na legenda da figura; e use caixas, círculos, etc., como pontos de coordenadas em gráficos.
- Identifique o material publicado anteriormente, fornecendo a fonte original na forma de uma citação de referência no final da legenda da figura.

#### Posicionamento e tamanho da figura

- As figuras devem ser enviadas separadamente do texto, se possível.
- Ao preparar suas figuras, dimensione as figuras para caber na largura da coluna.
- Para periódicos de tamanho grande, as figuras devem ter 84 mm (para áreas de texto de coluna dupla) ou 174 mm (para áreas de texto de coluna única) de largura e não superior a 234 mm.
- Para revistas de pequeno porte, as figuras devem ter 119 mm de largura e não mais que 195 mm.

#### Permissões

Se você incluir figuras que já foram publicadas em outro lugar, você deve obter permissão do(s) proprietário(s) dos direitos autorais para o formato impresso e online. Esteja ciente de que alguns editores não concedem direitos eletrônicos gratuitamente e que a Springer não poderá reembolsar quaisquer custos que possam ter ocorrido para receber essas permissões. Nesses casos, deve-se usar material de outras fontes.

#### Acessibilidade

A fim de dar às pessoas de todas as habilidades e deficiências acesso ao conteúdo de suas figuras, certifique-se de que

- Todas as figuras têm legendas descritivas (os usuários cegos podem usar um software de conversão de texto em fala ou um hardware de conversão de texto em Braille)
- Padrões são usados em vez de ou além de cores para transmitir informações (os usuários daltônicos seriam capazes de distinguir os elementos visuais)
- Qualquer letra de figura tem uma taxa de contraste de pelo menos 4,5:1

#### Informações Complementares (SI)

A Springer aceita arquivos eletrônicos multimídia (animações, filmes, áudios, etc.) e outros arquivos complementares para serem publicados online junto com um artigo ou capítulo de livro. Esse recurso pode agregar dimensão ao artigo do autor, pois certas informações não podem ser impressas ou são mais convenientes em formato eletrônico.

Antes de enviar conjuntos de dados de pesquisa como Informação Suplementar, os autores devem ler a política de dados de pesquisa da revista. Incentivamos que os dados de pesquisa sejam arquivados em repositórios de dados sempre que possível.

#### Submissão

- Forneça todo o material suplementar em formatos de arquivo padrão.
- Por favor, inclua em cada arquivo as seguintes informações: título do artigo, nome do periódico, nomes dos autores; afiliação e endereço de e-mail do autor correspondente.
- Para acomodar downloads de usuários, lembre-se de que arquivos de tamanho maior podem exigir tempos de download muito longos e que alguns usuários podem ter outros problemas durante o download.
- Vídeos de alta resolução (qualidade de streaming) podem ser enviados até um máximo de 25 GB; vídeos de baixa resolução não devem ter mais de 5 GB.

#### Áudio, vídeo e animações

- Proporção: 16:9 ou 4:3
- Tamanho máximo do arquivo: 25 GB para arquivos de alta resolução; 5 GB para arquivos de baixa resolução
- Duração mínima do vídeo: 1 segundo
- Formatos de arquivo suportados: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

#### Texto e Apresentações

- Envie seu material em formato PDF; Arquivos .doc ou .ppt não são adequados para viabilidade a longo prazo.
- Uma coleção de figuras também pode ser combinada em um arquivo PDF.

#### Planilhas

- As planilhas devem ser enviadas como arquivos .csv ou .xlsx (MS Excel).

#### Formatos especializados

- Formatos especializados como .pdb (químico), .wrl (VRML), .nb (caderno Mathematica) e .tex também podem ser fornecidos.

#### Coletando vários arquivos

- É possível coletar vários arquivos em um arquivo .zip ou .gz.

#### Numeração

- Se fornecer algum material suplementar, o texto deve fazer menção específica ao material como citação, semelhante à de figuras e tabelas.

- Consulte os arquivos suplementares como "Recurso Online", por exemplo, "... como mostrado na animação (Recurso Online 3)", "... dados adicionais são fornecidos no Recurso Online 4".

- Nomeie os arquivos consecutivamente, por exemplo, "ESM\_3.mpg", "ESM\_4.pdf".

#### Legendas

- Para cada material suplementar, forneça uma legenda concisa descrevendo o conteúdo do arquivo.

#### Processamento de arquivos suplementares

- As Informações Suplementares (SI) serão publicadas conforme recebidas do autor, sem qualquer conversão, edição ou reformatação.

#### Acessibilidade

A fim de dar às pessoas de todas as habilidades e deficiências acesso ao conteúdo de seus arquivos suplementares, certifique-se de que

- O manuscrito contém uma legenda descritiva para cada material suplementar
- Os arquivos de vídeo não contêm nada que pisque mais de três vezes por segundo (para que os usuários propensos a convulsões causadas por tais efeitos não sejam colocados em risco)

#### Edição do idioma inglês

Para que editores e revisores avaliem com precisão o trabalho apresentado em seu manuscrito, você precisa garantir que o idioma inglês seja de qualidade suficiente para ser entendido. Se você precisar de ajuda para escrever em inglês, considere:

- Obtendo uma verificação gramatical online rápida e gratuita.
- Pedir a um colega que seja proficiente em inglês para revisar seu manuscrito para maior clareza.
- Visitando o tutorial em inglês que aborda os erros comuns ao escrever em inglês.
- Usando um serviço profissional de edição de idiomas onde os editores irão melhorar o inglês para garantir que seu significado seja claro e identificar problemas que exigem sua revisão. Dois desses serviços são fornecidos por nossas afiliadas Nature Research Editing Service e American Journal Experts. Os autores Springer têm direito a um desconto de 10% em sua primeira submissão a qualquer um desses serviços, basta seguir os links abaixo.