

Avaliação da translocação dos metais do solo e rejeito para hortaliça alface, rúcula e rabanete: estudo de caso Mariana-Minas Gerais-Brasil

Evaluation of the translocation of soil metals and waste for lettuce, arugula and radish: case study Mariana-Minas Gerais-Brazil

Evaluación de la translocación de metales y desechos del suelo para lechuga, rúcula y rábano: estudio de caso Mariana-Minas Gerais-Brasil

Recebido: 01/10/2022 | Revisado: 09/10/2022 | Aceitado: 10/11/2022 | Publicado: 17/11/2022

Otniel Alencar Bandeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7370-9860>
Universidade de São Paulo, Brasil
E-mail: otnielalencar@gmail.com

Palmeri Alencar Bandeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1093-5796>
Universidade Estadual de Goiás, Brasil
E-mail: palmerialencar@gmail.com

Cristina Filomêna Pereira Rosa Paschoalato

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9074-9784>
Universidade de São Paulo, Brasil
E-mail: cpaschoalato@unaerp.br

Susana Segura Muñoz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6720-8231>
Universidade de São Paulo, Brasil
E-mail: susis@eerp.usp.br

Resumo

A exploração mineral é uma relevante atividade econômica desenvolvida no Brasil, principalmente, no Estado de Minas Gerais. A região do Quadrilátero Ferrífero é considerada uma das maiores províncias poliminerálicas do Planeta e possui importantes reservas de minério de ferro, manganês, níquel, alumínio e ouro. Com o rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG, em 2015, milhões de toneladas de rejeitos extravasaram ficando depositados no solo e nos recursos hídricos. A carga de rejeitos atingiu, primeiramente, a Barragem de Santarém, provocando o seu galgamento, subsequentemente, alcançou o subdistrito de Bento Rodrigues, Rio Gualaxo do Norte, Rio Carmo, Rio Doce e Oceano Atlântico. Foram 663,2 km de corpos hídricos diretamente impactados, 41 municípios e dois estados atingidos: Minas Gerais e Espírito Santo. Diante da magnitude dos danos provocados ao ecossistema e carência de informações e de estudos na área da saúde, esta pesquisa tem por objetivo investigar a transferência da contaminação dos metais presentes no rejeito para a cadeia trófica, por meio do cultivo de alimentos sobre o substrato contaminado e determinações químicas na parte aérea e sistema radicular. Avaliação do Fator de Translocação dos metais foi desenvolvida em hortaliças (alface, rúcula e rabanete), cultivada com solo natural de Mariana-MG e com rejeitos de mineração. Os resultados dos ensaios com hortaliças apontam amostras que apresentaram Fator de Translocação superior a 1, evidenciando o transporte de metais das raízes até a parte aérea dos vegetais, o que pode representar risco para saúde da população.

Palavras-chave: Metais; Rejeito de mineração; Rompimento de barragem; Rotas de dispersão.

Abstract

Mineral exploration is a relevant economic activity developed in Brazil, mainly in the State of Minas Gerais. The Quadrilátero Ferrífero region is considered one of the largest polymetalliferous provinces on the planet and has important reserves of iron ore, manganese, nickel, aluminum and gold. With the failure of the Fundão dam in Mariana-MG, in 2015, millions of tons of tailings overflowed, being deposited in the soil and water resources. The tailings load first reached the Santarém Dam, causing its overtopping, subsequently reaching the sub-district of Bento Rodrigues, Rio Gualaxo do Norte, Rio Carmo, Rio Doce and the Atlantic Ocean. There were 663.2 km of water bodies directly impacted, 41 municipalities and two states affected: Minas Gerais and Espírito Santo. Given the magnitude of the damage caused to the ecosystem and the lack of information and studies in the health area, this research aims to investigate the transfer of contamination of metals present in the tailings to the trophic chain, through the cultivation of food on the contaminated substrate. and chemical determinations in the shoot and root system. Evaluation of the Translocation Factor of the metals was developed in vegetables (lettuce, arugula and radish), cultivated with natural

soil of Mariana-MG and with mining tailings. The results of the tests with vegetables indicate samples that presented a Translocation Factor greater than 1, showing the transport of metals from the roots to the aerial part of the vegetables, which can represent a risk to the health of the population.

Keywords: Metals; Mining tailings; Dam failure; Dispersion routes.

Resumen

La exploración minera es una actividad económica relevante desarrollada en Brasil, principalmente en el Estado de Minas Gerais. La región del Cuadrilátero Ferrífero es considerada una de las provincias poliminerales más grandes del planeta y cuenta con importantes reservas de mineral de hierro, manganeso, níquel, aluminio y oro. Con la falla de la represa de Fundão en Mariana-MG, en 2015, millones de toneladas de relaves se desbordaron, depositándose en el suelo y en los recursos hídricos. La carga de relaves llegó primero a la Presa de Santarém, provocando su desbordamiento, llegando posteriormente al subdistrito de Bento Rodrigues, Rio Gualaxo do Norte, Rio Carmo, Rio Doce y el Océano Atlántico. Hubo 663,2 km de cuerpos de agua directamente impactados, 41 municipios y dos estados afectados: Minas Gerais y Espírito Santo. Dada la magnitud del daño ocasionado al ecosistema y la falta de información y estudios en el área de la salud, esta investigación tiene como objetivo investigar la transferencia de la contaminación de los metales presentes en los relaves a la cadena trófica, a través del cultivo de alimentos sobre los contaminados. Sustrato y determinaciones químicas en el sistema de brotes y raíces. Se desarrolló la evaluación del Factor de Translocación de los metales en hortalizas (lechuga, rúcula y rábano), cultivadas con suelo natural de Mariana-MG y con relaves mineros. Los resultados de las pruebas con hortalizas indican muestras que presentaron un Factor de Translocación superior a 1, evidenciando el transporte de metales desde las raíces hacia la parte aérea de las hortalizas, lo que puede representar un riesgo para la salud de la población.

Palabras clave: Rieles; Relaves mineros; Falla de la presa; Rutas de dispersión.

1. Introdução

Nos últimos anos, a aflição da população com qualidade dos alimentos tem sido uma preocupação diária. Cada dia que passa, os seres humanos compreendem que sua saúde está inteiramente relacionada com os alimentos consumidos. Inúmeras doenças crônicas, como, hipertensão, diabetes mellitus e cardiopatias coronárias, estão relacionadas com os desequilíbrios dietéticos. Profissionais de saúde de órgãos municipais, estaduais, federais e privados recomendam a redução do consumo de gorduras saturadas e o aumento da ingestão de alimentos saudáveis como, frutas, verduras e hortaliças (Silva et al., 2011; Clemente & Haber, 2012).

As frutas, verduras e hortaliças são excelentes fonte de vitaminas, minerais e antioxidantes, como, vitamina C, compostos fenólicos e pigmentos carotenoides, capaz de prevenir doenças, por meio de interações complexas com o metabolismo e processos moleculares de interação com o corpo humano (Venzke, 2020). É visto que de acordo com dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o número de adultos consumindo hortaliças aumentou 17,8% no final do ano de 2019 (Cna, 2019).

Entretanto, apesar de todos os benefícios nutricionais já conhecidos, e a conscientização da população sobre o consumo de frutas e hortaliças, pode ser uma forma importante de exposição dos seres humanos a vestígios de metais (Sawut et al., 2018).

Análises têm sido feitas a fim de investigar a contaminação de hortaliças por metais e os riscos associados à saúde. Várias pesquisas têm sido realizada na Europa (Hurtado-Barroso et al., 2017; Antoniadis et al., 2017 & Defarge et al., 2018), na Ásia (Hu et al., 2017; Sawut et al., 2018 & Hou et al., 2018) e Américas do Norte e Sul (Corguinha et al., 2015; França et al., 2017; Dala-Paula et al., 2018; Hadayat et al., 2018 & Alves et al., 2020), porque os metais são um dos maiores poluentes das hortaliças.

Fator este que estão relacionados com atividade urbana e industrial que gera emissões, vazamentos e derramamentos de compostos tóxicos no solo. Outros fatores que estão relacionados a contaminação são desastres de pequena ou grande escala. Isto ocorreu com mais intensidade após a industrialização mundial. Podemos observar que ao longo do século 20, e, especialmente nos últimos 50 anos, as pessoas no Brasil e no mundo enfrentaram riscos de desastres em um ritmo mais rápido,

e, conseqüentemente, geram impactos intensivos e generalizados (no tempo e espaço). Uma das atividades que podemos chamar atenção à extração de minério, que faz os metais ficar biodisponíveis (Freitas et al., 2016).

Nessa perspectiva, podemos destacar um recente desastre, na tarde do dia 5 de novembro de 2015, a barragem do Fundão da mineradora Samarco Vale do Rio Doce, rompeu e extravasou 34 milhões de metros cúbicos (m³) de lama com resíduos de metais pesados, resultando em graves danos às aldeias vizinhas a jusante da empresa de mineração, os impactos foram superiores a 663,2 km do início do local do desastre. Isso foi considerado maior desastre global desde 1960, decorrência em danos sociais, ambientais e econômicos (Ibama, 2015).

Desta maneira, o que chamado atenção são as mais de 41 cidades que foram atingidos por este rejeito, sendo que o rejeito ficou/está depositado sobre solo destes municípios, intende que solo está contaminado. Nas pesquisas citadas, é considerada a principal forma de poluentes e contaminação do solo (Freitas et al., 2016).

O cultivo de hortaliça próximo a locais contaminados pode absorver esses metais e ser consumidos por humanos e animais. Portanto, devido os metais terem uma meia-vida longa (aproximadamente 10 a 30 anos), a cadeia alimentar é uma das formas mais importantes para os humanos entrarem em contato com os metais pesados. Pode passar anos, e até mesmo o desastre ser esquecido, mas os metais estarão depositados no solo (Hadayat et al., 2018).

Com intuito de esclarecer a indagação da população que reside neste local, atingindo pelo destrato de Mariana-MG, sobre a preocupação de sua permanência, retorno ou interrupção das atividades agrícolas nos locais atingidos. Surge o questionamento da população por ter passado algum tempo e a empresa renova (empresa responsável para rever os danos feitos pela mineradora Samarco), tem jogado semestre de adubação verde e ter sido germinado as plantas no rejeito, tem algum perigo para a população cultivar hortaliça neste local.

Mediante o exposto, o estudo tem como objetivo investigar a transferência da contaminação dos metais presentes no rejeito para a cadeia trófica, por meio do cultivo de alimentos sobre o substrato contaminado e determinações químicas na parte aérea e sistema radicular.

2. Metodologia

A pesquisa é classificada como qualitativa, o estudo foi dividido em duas fases, a primeira foi um estudo bibliográfico teórico do assunto abordado, e a segunda foi com estudo realizado análises de estudo de campo.

2.1 Solo natural e rejeito de mineração

A coleta do rejeito foi realizada no município de Paracatu de Baixo (20°18'17"S, 43°13'51"O), um dos subdistritos de Mariana-MG, este local foi escolhido por ter sido um dos primeiros locais atingidos pela lama é ter uma espessa camada de rejeitos depositados na superfície sem ser perturbado pelo processo de remoção de vegetação.

A coleta é feita na parte superior (0 a 60 cm) descartando o 5 cm superior de rejeitos. Além disso, o solo de natural é coletado na mesma subárea (20° 18'26.20"S, 43°13'55" O), no topo do perfil da área protegida (0-20 cm) que não foi afetado pelo desastre. Realizamos o transporte de rejeitos e amostras naturais de solo para laboratório (Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada Nuclear de Itirapina-SP – USP) para homogeneização, peneiramento manual, secagem a céu aberto e estufa (colocado na temperatura de 40 ± 3°C por 24 horas) e, a seguir, armazenada em saco plástico estéril e acondicionado em caixa de polietileno no laboratório.

2.1.1 Análises dos dados de solo e rejeito

Foi realizada uma análise descritiva para organizar os dados coletados no software Microsoft Excel® comparado com o valor máximo permitido pela (CONAMA) n° 420, de 28 de dezembro de 2009 que alterou e complementou a Resolução

CONAMA 357/2005. Além das fontes de poluição no entorno dos pontos de coleta e amostragem do solo natural e rejeito, foi relacionada ao impacto ambiental, uso e ocupação do solo vinculado a legislação internacional.

Utilizou-se software GraphPad Prism® 8.2.1 (2019) para avaliação da normalidade foi utilizado o teste Shapiro-Wilk, após, foi realizado o teste não-paramétrico Mann Whitney para comparação entre as concentrações de metais pesados do solo e rejeito. O nível de significância utilizado foi de $\alpha=0,05$, de modo que valores de $p<0,05$ indicaram a existência de diferenças significantes entre os pontos de comparação.

2.2 Ensaios de cultivo de hortaliça

O critério de seleção das hortaliças foi por meio dos mais comuns na dieta brasileira, sendo alface, rúcula e rabanete, as hortaliças utilizadas para os ensaios foi para responder o objetivo, não constituiu em consideração sua capacidade de fixação e disponibilização de nitrogênio, ou alta produção de biomassa e/ou mesmo para recuperação de áreas degradadas, como é o caso de Mariana-MG.

Foram utilizados sementes de hortaliças, com taxa de germinação de 75% e 98% de pureza, a saber: *Lactuca sativa L. crispata* (alface folha crespa), *Eruca sativa L.* (pinhão ou rúcula donatella folha larga) e *Raphanus sativus L.* (rabanete cometa) (Figura 1).

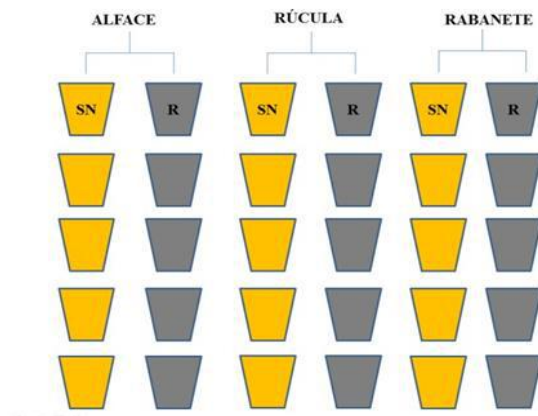
Figura 1 - Imagem das sementes selecionada para os ensaios das hortaliças.



Fonte: Autores.

O delineamento experimental do cultivo das hortaliças ocorreram em oito réplicas e esquema fatorial 2x3 (dois tratamentos e três espécies vegetais), totalizando 30 unidades experimentais, foram utilizados recipientes plásticos estéreis de 0,3 dm³. No primeiro e segundo tratamentos, as espécies vegetais foram cultivadas em vasos contendo apenas o solo natural de Mariana-MG e rejeito, as réplicas foram regadas diariamente com 30 mL de água potável. Na Figura 2 está apresentado o delineamento experimental das culturas.

Figura 2 - Esquema do delineamento experimental no ensaio de bioacumulação.



Fonte: Autores.

O cultivo das hortaliças seguiu as diretrizes do Catálogo Brasileiro de Hortaliças (Embrapa, 2010) (Figura 3). Após 30 dias de crescimento, as espécies vegetais foram cuidadosamente removidas e preparadas para determinação química de metais na parte aérea e raiz.

Figura 3 - Imagem das espécies vegetais segundo os seus tratamentos.



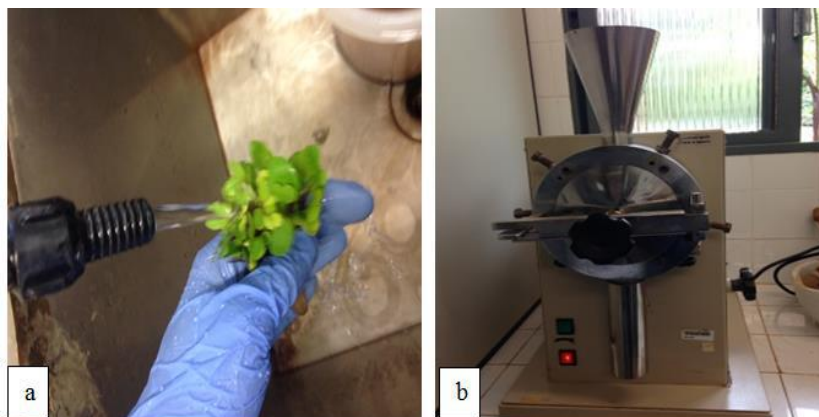
Fonte: Autores.

2.2.1 Preparação das amostras de hortaliça para análises de metais

As amostras foram preparadas de acordo com a metodologia de Nogueira e Souza (2005). As amostras de plantas foram inicialmente lavadas abundantemente com água de torneira e com água ultrapura. Posteriormente, separamos parte da área e raízes e o material foi posto em cadinhos etiquetados e pré-lavados em banho ácido 10% (HNO₃) e colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar em temperatura de 65°C até atingir peso constante para em seguida serem trituradas. A moagem da parte aérea, raízes e raízes tuberosas foram realizadas em moinhos tipo Willey, com facas e câmara de aço

inoxidável e com peneiras de 0,5 mm de diâmetro, visando assegurar a homogeneização da amostra. A amostragem foi composta pela mistura de plantas das oito réplicas de cada tratamento (Figura 4).

Figura 4 - (a) Limpeza das espécies vegetais; (b) Máquina Willey utilizado para moer as plantas.

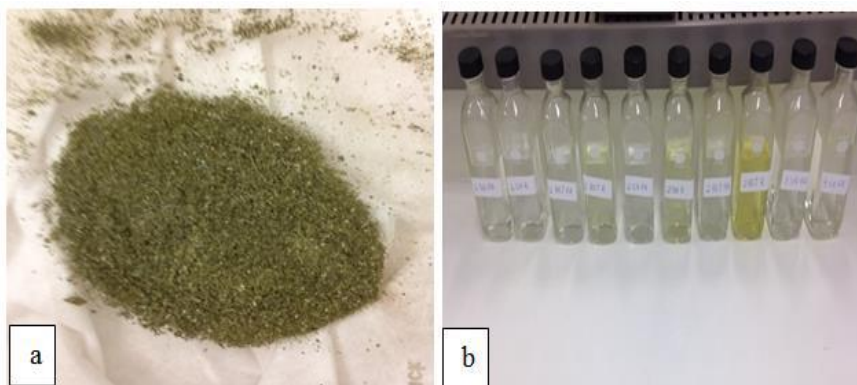


Fonte: Os autores (2019).

O solo das oito réplicas de cada planta também foi misturado em recipiente plástico estéril para retirada de uma amostra composta de 100g, o mesmo procedeu para o tratamento com rejeito. Amostras compostas de 100g de solo natural e rejeito também foram secas em estufa a 65°C e em seguida homogeneizadas em almofariz.

A digestão das amostras foi baseada no MÉTODO 3051A (Epa, 2007) e Andrade *et al* (2018). Resumidamente, após serem moídas e secas, 250 mg de amostras (amostras compostas por 8 réplicas) de solo, raízes, raízes tuberosas do rabanete e parte aérea das hortaliças foram pesadas e colocadas em tubos de polímero de fluoro carbono, e, posteriormente, adicionou-se 7 mL de HNO₃ concentrado 65% (P.A). E 2,0 ml de H₂O₂ (30%) gota a gota. Os frascos ficaram em repouso por 15 min. e, em seguida, colocados no micro-ondas. As amostras foram aquecidas a (90°C) durante 50 minutos em um micro-ondas (modelo Berghof V12.2- 440). Amostras foram resfriadas por cerca de 40 minutos e após esse período foram filtradas em papel filtro qualitativo de 24 cm de diâmetro, conforme (Figura 5).

Figura 5 - (a) Amostra trituradas em moinho, parte aérea; (b) Amostras digeridas pelo micro-ondas (modelo Berghof V12.2-440).



Fonte: Autores (2019).

Amostras de extratos de hortaliças cultivadas foram enviadas para o Laboratory of Toxicology and Environmental Health em Universitat Rovira i Virgili, Catalonia, (Spain), para realização das análises químicas dos metais (total) das seguintes propriedades: Al, As, Cd, Pb, Cr, Sn, Mn, Hg, Ni, Se, Tl, Cu, Fe e Zn. Amostras de solo e rejeito também foram coletadas no início e final dos bioensaios para análises químicas.

2.2.2 Análise de dados

Os valores das concentrações de metais quantificados na parte aérea e raízes das hortaliças alface e rúcula foram utilizados para cálculo do fator de bioconcentração (FBC) e fator de translocação (FT), para o rabanete o resultado da quantificação dos metais foram utilizados para o cálculo do fator de transferência (T). O FBC representa a relação entre o metal presente na parte aérea e a quantidade de metal presente no solo, ou seja, o FBC é a capacidade da planta em absorver metais a partir do solo e translocá-los para os tecidos da biomassa aérea (Liu et al., 2008). O FBC será calculado pela equação 1.0.

$$FBC = C_{PA} / C_{Solo} \quad (1.0)$$

Em que:

C_{PA} ($mg.kg^{-1}$) representa a concentração do metal na parte aérea;

C_{Solo} ($mg.kg^{-1}$) representa a concentração de metais disponível no solo para as plantas.

O fator de translocação (FT) significa a capacidade de uma planta em transloucar metais das raízes para a parte aérea. O FT será calculado pela equação 2.0 (Shi et al, 2011).

$$FT = A_{PA} / A_{SR} \quad (2.0)$$

Em que:

A_{PA} ($mg.kg^{-1}$) representa a concentração total de metal acumulado na parte aérea;

A_{SR} ($mg.kg^{-1}$) representa a concentração total acumulado nas raízes.

O fator de transferência (T) é considerado o conteúdo dos metais na parte raiz (A_{SR}) somado a raízes tuberosas (A_{RT}), justificativa de utilizar este método devido à planta em estudo o rabanete, possuir a parte comestível que se encontra nas raízes, o T foi calculado pela equação 3.0 (Henry, 2000).

$$T = A_{SR} + A_{RT} \quad (3.0)$$

Em que:

A_{SR} ($mg.kg^{-1}$) representa a concentração total acumulado nas raízes.

A_{RT} ($mg.kg^{-1}$) representa a concentração total acumulado nas raízes tuberosas

3. Resultados e Discussão

3.1 Metais em hortaliças

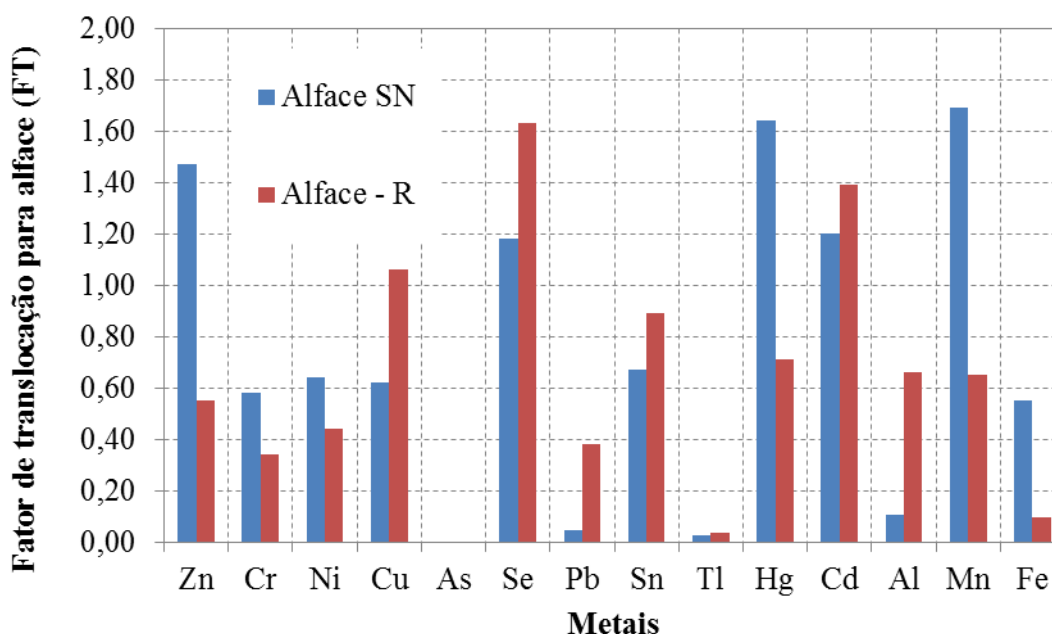
Análises para investigar a contaminação de hortaliças por metais foram conduzidas no presente estudo.

3.1.1 Concentrações de metais nas hortaliças

O Fator de Translocação tem a finalidade de avaliar se a planta transporta o metal pesado das raízes para as partes aéreas. No entanto, é importante destacar que este item é para investigar mobilidade dos metais presentes no rejeito acumulado nas hortaliças e devemos ressaltar que o solo de Mariana-MG tem um teor elevado de vários metais até acima da legislação, isto é, uma característica do solo da região.

A Figura 6 apresenta o Fator de translocação (FBC-P/FBC-R) dos metais Zn, Cr, Ni, Cu, As, Se, Pb, Sn, Tl, Hg, Cd, Al, Mn e Fe na alface cultivada experimentalmente em solo natural e rejeito. O Arsênio não foi identificado nas análises das hortaliças alface, rúcula e rabanete.

Figura 1 – Distribuição do Fator de Translocação (FT) de metais para a alface em solo natural (SN) e rejeito (R).



Fonte: Autores.

De modo geral foram evidenciadas diferenças entre o FT SN e FT R. Desta forma, entendendo que quando o Fator de Translocação for maior que um, e a eficiência da planta em transportar o metal da raiz para a parte aérea. Observando a figura que demonstra a distribuição fator translocação para alface o Zn, Hg e Mn obtiveram um FT SN maior que um (1), mostrará que a planta tem a capacidade de acumular Zn, Hg e Mn em sua parte aérea.

O Zn FT SN 1,47 e FT R 0,55, conforme o que podemos verificar que alface cultivada no solo natural tem uma maior transferência Zn para planta em relação ao rejeito. A ocorrência deste fator é afetada pela idade e maturidade da planta, geralmente, este Zn permanece nas mudas, pois a concentração vai diminuir devido à diluição durante o ciclo de vida da planta. O Zn, nas hortaliças, atua, como síntese de proteína e no crescimento (Muner et al., 2011). A deficiência de zinco no corpo humano aumentará o índice de doenças infecciosas, câncer e atraso intelectual, com isto acentuara o custo da saúde pública (Black et al., 2008).

O teor do Hg FT SN 1,64 e de FT R 0,71, sendo que o Hg é um metal que não possui funções biológicas conhecidas e pode causar toxicidade, considerando a sua transferência para as plantas, pode alcançar toda a cadeia trófica (Rizwan et al., 2017).

O manganês demonstrou o maior valor de transporte do metal para alface de FT SN 1,69. O Mn é um micronutriente importante para planta, e participam da ativação, descarboxilação e hidrólise de muitas enzimas (Silber et al., 2009). Além disso, é um mineral essencial para o corpo humano (Röllin et al., 2015).

O Cu foi único metal na alface que deu o FT R 1,06 que foi mais elevado que FT SN 0,62, isto significa que o cobre presente no rejeito foi transportado da raiz para a alface. O Cu é um metal muito distribuído na crosta terrestre. É uma substância essencial na vida humana, mas em altas doses pode causar anemia, danos ao fígado e rins, desconforto gastrointestinal, desta forma, pode ser prejudicial à saúde humana (Ning et al., 2017).

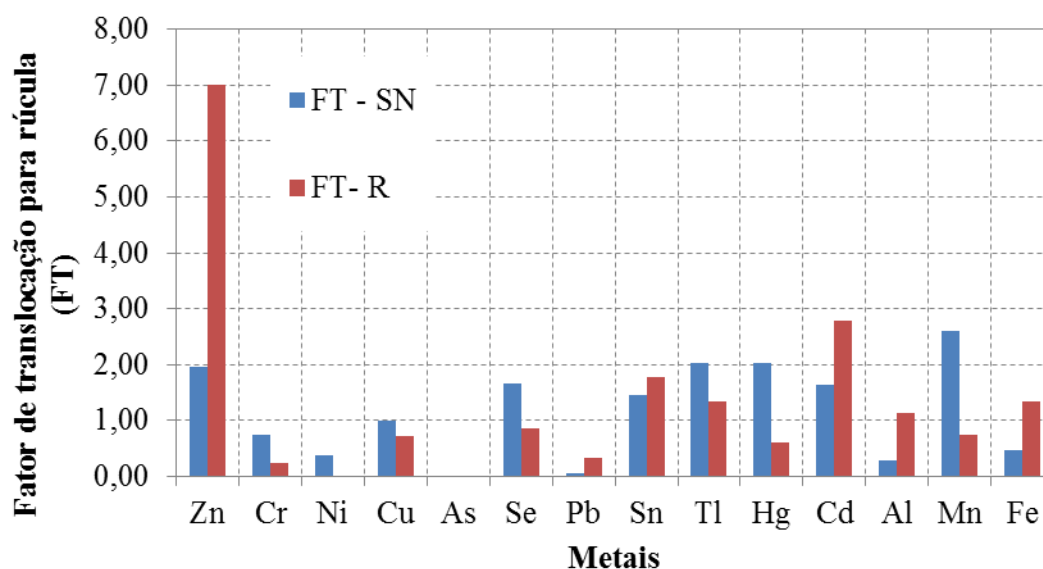
Os resultados mostraram que fator de translocação de Se e Cd foi maior que um (FT>1), tanto FT SN e FT R. O teor do Se FT R 1,63 e FT SN 1,18 o Se é muito importante para os humanos, porque entra na estrutura bioquímica do corpo humano. Um grupo de proteínas que são essenciais para a função metabólica e sua falta significa o surgimento de várias doenças, como câncer, diabetes Tipo II, doença cardíaca, disfunção pulmonar (Iwaoka & Arai, 2013).

A variação do fator de translocação do Cd nos teste no FT R 1,39 e FT SN 1,20. O Cd a exposição prolongada em humanos, pode causar insuficiência renal e alta exposição pode causar doença pulmonar obstrutiva e câncer de pulmão.

Segundo Simão e Siqueira (2001), a absorção de Cu pelas plantas é mais lento que o Zn, tem baixa translocação mesmo no solo poluição. Pires *et al.* (2003), indicando a presença de Ni no solo contaminado por metais pesados, reduzir significativamente a absorção de Cu na plantar.

A Figura 7 apresenta o índice do fator de translocação dos metais pesados do solo natural e rejeito para as raízes e folhas da hortaliça rúcula.

Figura 2 – Distribuição do fator de translocação da rúcula cultivada em solo natural e em rejeito.



Fonte: Autores.

Ao observar o resultado Zn na rúcula o FT R 7,00, como já foi citado o Zn é um nutriente essencial, e um componente das enzimas metálicas envolvidas. O papel da alta dose no metabolismo do ácido nucleico e na síntese de proteínas irritante para os olhos, nariz, garganta e pulmões (Cannata, 2011). A concentração normal de Zn nas plantas varia de 15 a 20 mg kg⁻¹ (peso seco); a deficiência de Zn nas folhas ocorre em níveis abaixo de 20 mg kg⁻¹, valores acima de 200 mg kg⁻¹ são

considerados tóxicos, e o valor de limites máximos de contaminantes pela resolução ANVISA nº 88 é de 25 mg kg⁻¹. O Zn essencial ao ser humano para a síntese dos ácidos desoxirribonucleico (DNA) e ribonucleico (RNA) (Araújo, 2011).

O teor de Cd FT R 2,78 e FT SN 1,63, quando o solo é usado para fins agrícolas, a poluição por Cd é particularmente importante porque o cádmio é facilmente transferido do solo para as plantas na cadeia de nutrientes.

A quantidade de Cd absorvida depende da espécie de planta, pois nem todo o Cd absorvido é transferido para parte aérea, depende da espécie cultivada (Burton, 1992).

O Cd acumula nos animais, principalmente nos rins, fígado e órgãos reprodutivos. Altos níveis de Cd no corpo humano podem causar danos ao fígado, enquanto baixos níveis na dieta estão relacionados à disfunção renal. As doenças relacionadas à exposição ao cádmio são o enfisema e a doença da dor notória. Esta doença causa desmineralização óssea dolorosa (osteoporose), porque o Cd substitui o cálcio nos ossos.

Entretanto com a menos quantidades podem ser tóxicas (Aoshima, 2016 & Sarah et al., 2019). [subir] Promover o desenvolvimento de doenças neurológicas e cardiovasculares, danos renais e intervir ativamente no processo de carcinogênese (Varol et al., 2017; Lucchini et al., 2019 & Sandersa et al., 2019).

De acordo com Xu et al. (2016), como o Cd pode acumular nos tecidos por muito tempo devido à sua afinidade (células cerebrais, renais e musculares), pode causar múltiplos danos à saúde humana. Este metal pode causar doenças renais, ósseas e respiratórias e danos ao fígado (Sharafi et al., 2019 & Mahmoud-Hamed et al., 2019). Segundo a USEPA, As, Cr, Cd e Pb são classificados como carcinógenos humanos, sendo crianças e mulheres os grupos mais suscetíveis (Gomiero, 2008 & Hadayat et al., 2018).

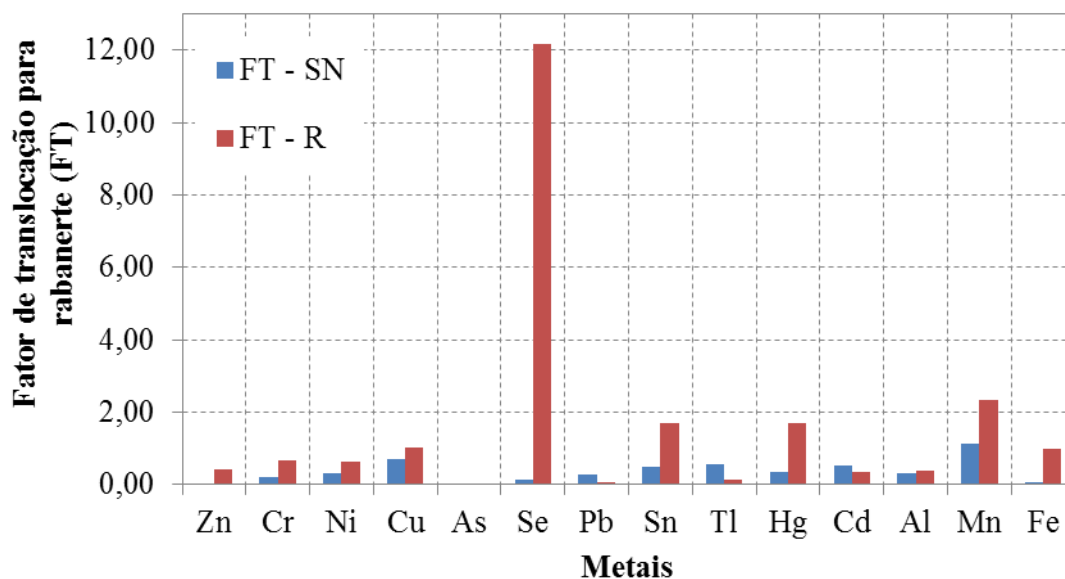
Portanto, quando o elemento de Cd e Zn são elevados às plantas podem influenciar a translocação. Para minimizar o impacto da exposição a metais pesados, as plantas desenvolveram uma variedade de mecanismos de tolerância de microelementos. Os mecanismos de tolerância das plantas aos metais incluem a exclusão e a acumulação (Baker, 1987).

Observando a Figura 7 pode-se verificar que o Al e Fe foram os metais que obtiveram um FT R maior que um (1), o Al teve o FT R 1,14 e FT SN 0,28, o alumínio é um dos principais fatores que reduzem o crescimento das plantas em solos ácidos, isso ocorrer porque os solos com pH neutro pode aumentar os níveis de cátions e interferir no crescimento das raízes (Xu et al., 2009).

O Fe nas plantas desempenha um papel nas reações de oxirredução e na participação de hemoproteínas. O Fe tem o teor de FT R 1,34, as altas de transporte deste elemento podem danificar diversas estruturas da planta, como o DNA, as proteínas e lipídeos através da geração de hidroxilas (Connolly & Guerrinot, 2002). Devido à necessidade de controlar esta toxicidade, as plantas desenvolvem um mecanismo onde o ferro fica alojado nas células que possuem ferritina (Souza et al., 2010).

A Figura 8 mostra a intensidade entre metais, indicando o fator de translocação entre solo natural e rejeito da seguinte hortaliça rabanete.

Figura 3 – Distribuição do fator de translocação do rabanete cultivado em solo natural e em rejeito.



Fonte: Autores.

Mesmo que aparentemente o rabanete seja mais tolerante, em comparação com as demais amostras, não acumuladora, o limite a entrada de metais pesados e a sua translocação para a parte aérea. Pode-se observar que não foi o que ocorreu nos efeitos dos metais FT R. O rabanete foi que mais teve fator de translocação no rejeito (>1).

O Se FT R 12,16 aponta o maior valor do rabanete entre todos os demais metais analisados, Se do FT SN 0,12. É importante ressaltar quanto ao acúmulo dos metais em relação ao seu transporte, e é mantida em um nível constante até que atinja um valor crítico que seja alcançado nas plantas, onde esse mecanismo é quebrado, resultando na restrição ao transporte do metal (Baker, 1981).

O Se é um micronutriente benéfico para a saúde humana e animal. O Se é um elemento que pode ser absorvido pelas plantas, mas sua necessidade para completar o ciclo de vida ainda não foi confirmada. Os sintomas mais comuns de envenenamento por Se em humanos incluem perda de cabelo, podridão das unhas, lesões cutâneas e doenças neurológicas (Lemire et al., 2012).

Observa-se que o Fe o FT R é 1,00 e FT SN 0,05. No ser humano, o Fe participa da biossíntese de ácidos nucleicos, no crescimento e no desenvolvimento celular. A falta de Fe causa várias doenças, principalmente a anemia, reduzir a capacidade imunológica, tornando, mais suscetíveis a doenças (Cakmak, 2008). O envenenamento por Fe humano pode desenrolar-se entre aguda e crônica e geralmente por meio de alimento e bebidas. Geralmente, na intoxicação aguda ela quase sempre acidental e é devido à ingestão de alimentos e medicamentos contendo Fe, o consumo de mais 0,5 g de ferro ou 2,5 g de sulfato ferroso, sucedem sintomas como náusea, vômito, diarreia, o sangramento gastrointestinal, insolvência do fígado e rins e estreitamento do trato gastrointestinal, isto acontece uma vez que o Fe é corrosivo para a mucosa gástrica (Riordan, 2002; Tepanosyan et al., 2017).

O Sn FT R 1,69 e FT Sn 0,50 o Sn é reconhecido como sendo um metal prontamente transportado para a parte aérea após a absorção pelas raízes. A pequena quantidade de estanho encontrada nos alimentos enlatados é inofensiva para os humanos. Os compostos de trialkyltin são fungicidas e devem ser manuseados com cuidado. O Sn contribui para processos fisiológicos, como a regulação do sistema imunológico, a desintoxicação de metais pesados, a regulação de

substâncias exógenas e hormônios tireoidianos e outros benefícios saúde proporcionados pelo selênio incluem a redução do risco de câncer (Roman et al., 2014).

O Hg FT R 1,69 e FT SN 0,33 de acordo com Arduini et al. (1996), regulação da absorção de metais pesados da rizosfera, seu acúmulo nas raízes, mantém sua integridade e a função primárias e a translocação para parte aérea são consideradas o mecanismo pelos quais o sistema radicular pode promover a tolerância das espécies a metais pesados.

De acordo com Arduini et al. (1996), regulação da absorção de metais pesados da rizosfera, seu acúmulo nas raízes, mantém sua integridade e a função primárias e a translocação para parte aérea são considerado o mecanismo pelos quais o sistema radicular pode promover a tolerância.

Dentro as hortaliças estudadas (alface, rúcula e rabanete), conforme observado nos resultados de fator de translocação, verifica-se que alface e rúcula têm a característica de acumular os metais, isto é, devido à parte comestível que representa a proporção de toda a planta (Borin, 2010).

Pode-se deduzir que o Zn na rúcula teve um comportamento estatisticamente diferente entre as hortaliças em estudo, com o teor elevado entre os demais metais. No estudo realizado o rabanete entre as demais hortaliças o Se foi o metal com teor mais elevado FT R.

4. Conclusão

Os resultados dos ensaios com hortaliças (alface, rúcula e rabanete) apontam para algumas amostras, Fator de Translocação superiores a 1, evidenciando o transporte de metais das raízes até parte aérea das hortaliças, o que pode representar risco para saúde da população.

Após o desenvolvimento desta pesquisa, mostra-se a necessidade de se dar continuidade de estudos nas áreas atingidas pelos rejeitos de mineração a mediano e longo prazo, com foco em estratégias de remediação que visem a redução a potencial toxicidade para as comunidades assentadas após esses acidentes em áreas atingidas.

Referências

- Andrade, A., Velazco, S. J. E., & De Marco J. P. (2018). How niche mismatches impair our ability to predict potential invasions. *PANGAEA*.
- Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Boersch, J., Frohne, T., Laing, G. D., & Rinklebe, J. (2017). Bioavailability and risk assessment of potentially toxic elements in garden edible vegetables and soils around a highly contaminated former mining area in Germany. *Journal of Environmental Management*, 186, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.036>.
- Aoshima, K. (2016). Itai-itai disease: renal tubular osteomalacia induced by environmental exposure to cadmium-historical review and perspectives. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62, 319–326. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23095355.
- Arduini, I., Godbold, D. L., & Onnis, A. (1996). Cadmium and copper uptake and distribution in Mediterranean tree seedlings. *Physiologia Plantarum, Frederiksberg C.*, n. 97, p. 111-117.
- Baccan, N. (2004). Metais Pesados: Significado e Uso da Terminologia. In: ANAIS IX ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONTAMINANTES INORGÂNICOS, IPEN, São Paulo.
- Black, R. E., et al. (2008). Maternal and child under-nutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet, London*, v. 371, n. 9608, p.243-260.
- Borin, A. L. D. C. (2010). Fitorremediação de cádmio e zinco por *Amaranthaceae*. 196 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Castro, V. S. (2006). Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do Alto Rio das Velhas-MG. 2006. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Minas Gerais- MG.
- Clemente, F. M. V. T., & Haber, L. U. (2012). Horta em pequenos espaços. Brasília: Embrapa Hortaliças, 56p.
- Comin, T. T., Pozza, S. A., & Coury, J. R. (2007) Principais fontes de material particulado atmosférico mp 2,5 em são carlos-sp, XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS – ENEMP 16 a 19 de outubro de 2007, Aracaju – Sergipe.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (1996) Avaliação do Complexo Billings: Comunidades aquáticas, água e sedimento (out./92 a out./93). São Paulo: Relatório Técnico CETESB, 106p.

Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA Brasil). (2019). Hortaliças perspectivas para 2018-2019. www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/hortalicas_balanco_2019.pdf.

Corguinha, A. P. B., De Souza, G. A., Gonçalves, V. C., Carvalho, C. A., De Lima, W. E. A., Martins, F. A. D., Yamanaka, C. H., Francisco, E. A. B., & Guilherme, L. R. G. (2015). Assessing arsenic, cadmium, and lead contents in major crops in Brazil for food safety purposes. *Journal Food Composition*, 37, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.08.004>.

Dala-Paula, B. M., Custódio, F. B., Knupp, E. A. N., Palmieri, H. E. L., Silva, J. B. B., & Glória, M. B. A. (2018). Cadmium, copper and lead levels in different cultivars of lettuce and soil from urban agriculture. *Environmental Pollution*, 242, 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.101>.

Defarge, N., Vendômois, J. S., & Séralin, G. E. (2018) Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, 5, 156–163. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.12.025>.

Duffus, J. H. (2002). “Heavy metals”—a meaningless term? *Pure Appl. Chem.*, 74(5), 793–807.

Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2010). Catálogo Brasileiro de hortaliças – saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no País. SEBRAE, 2010.

Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. (2000) Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos / Ciríaca Arcangela Ferreira de Santana do Carmo ... [et al.]. Embrapa Solos. 41 p. – (Embrapa Solos. Circular Técnica; 6).

Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. (2007). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS.

Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. (2007). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS.

Epa. (2007). UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Method 3051A (SW-846): Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oil. Revision 1. Washington, DC. 2007.

Epstein, E., & Bloom, A. J. (2006). Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e perspectivas. Editora Planta. Londrina, p. 401.

França, F. C. S. S., Albuerque, A. M. A., Almeida, A. C., Silveira, P. B., Filho, C. A., Hazin, A. C., & Honorato, E. V. (2017). Heavy metals deposited in the culture of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by the influence of vehicular traffic in Pernambuco, Brazil. *Food and Chemical Toxicology*, 215, 171-176. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.168>.

Freitas, C. M., Silva, M. A., & Menezes, F. C. (2016). O desastre na barragem de mineração da Samarco- fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. *Mariana/Artigas*, p. 25- 30.

Gomiero, T. (2018). Food quality assessment in organic vs. conventional agricultural produce: findings and issues. *Applied Soil Ecology*, 123, 714-728. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139317302573.

Hadayat, N., Oliveira, L. M., Da Silva, E., Han, L., Hussain, M., Liu, X., & Ma, L. Q. (2018). Assessment of trace metals in five most-consumed vegetables in the US: Conventional vs. organic. *Environmental Pollution*, 243, 292-300. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.065>.

Hou, S., Zheng, N., Tang L., & Ji, X. (2018). Effects of cadmium and copper mixtures to carrot and pakchoi under greenhouse cultivation condition. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 172-181.

Hu, A. W., Huang, B., Tian, K., Holm, P. E., & Zhang, Y. (2017). Heavy metals in intensive greenhouse vegetable production systems along Yellow Sea of China: Levels, transfer and health risk. *Chemosphere*, v. 167, p. 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.122>.

Hurtado-Barroso, B. C., Treserra-Rimbau, A., Vallverdú-Queralt, A., & Iamuela-Raventós, R. M. (2017). Organic food and the impact on human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(4), 704-714. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1394815>.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. IBAMA (2015). Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Brasília, DF. <http://www.ibama.gov.br/publicadas/documentos-do-ibama-sobre-o-desastre-da-samarco-no-rio-doce>.

Iwaoka, M., & Arai, K. (2013). *A New Research Arena in Chemical Current Chemical Biology*. Bentham Science Publishers, 7(1).

Lemire, M., Philibert, A., Fillion, M., Passos, C. J. S., Guimarães, J. R. D., Barbosa Jr. D. & Mergler, D. (2012). No evidence of selenosis from a selenium-rich diet in the Brazilian Amazon. *Environment International*, 40, 128-136.

Lepsch, I. F. (1993). Solos: formação e conservação. Revisão técnica de Beatriz Pamplona. (5a ed.): Melhoramentos.

Liu, X. H., et al. (2008). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity. *Environment Science*. v. 20, p. 1469 – 1474

Lucchini, R. G., Guazzetti, S., Renzetti, S., Conversano, M., Cagna, G., Fedrighi, E., Giorgino, A., Peli, M., Placidi, D., Zoni, S., et al. (2019). Neurocognitive impact of metal exposure and social stressors among schoolchildren in Taranto, Italy. *Environmental Health*, v. 18, p.67. ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-019-0505-3.

- Mahmoud-Hamed, M. S. E., Palma, P. L. B., Da Silva, E. D. S., Melhado, K. C. P. M., De Souza, S. L. Q., & Raices, R. S. L. (2019). Distribution and health risk assessment of cadmium, lead, and mercury in freshwater fish from the right bank of Senegal River in Mauritania. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(8), 493. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31300901.
- Muner, L. H., et al. (2011). Disponibilidade de zinco para o milho em resposta à localização de fósforo no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 15(1), 29-36.
- Pires, J. M. M., Lena, J. C., Machado, C. C., & Pereira, R. S. (2003). Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de Germano. *Revista Árvore*, 27(3): 393-397.
- Raij, B. V., Andrade, J. C., Cantarella, H., & Quaggio, J. A. (2001). (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: IAC, 2001 285p. Autores: Aline R., Coscione, B. V. R., Cleide A. De A., Hans R. G., & et al.
- Ribeiro, C. A. C. Contaminação do solo por metais pesados. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias – Lisboa.
- Riordan, M., Rylance, G., & Berry, K. (2002). Poisoning in children: common medicines. *Arch. Dis. Child.*, 87, 400-402.
- Rocha, J. C., Rosa, A. H., & Cardoso, A. A. (2009). *Introdução à Química Ambiental*. (2a ed.), Bookman. 256 p.
- Röllin, H. B., & et al. (2015). Prenatal Exposure to Cadmium, Placental Permeability and Birth Outcomes in Coastal Populations of South Africa. *PLoS ONE*, San Francisco, CA USA, 10(11), e0142455. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4636426/>>.
- Roman, M., Jitaru, P., & Barbante, C. (2014). Selenium biochemistry and its role for human health. *Metallomics*, 6(1), 25-54.
- Santos, G. C. G. (2005). Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes de efeito tóxicos. 2005. 105 f. Tese (doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Sandresa, A. P., Mazzella, M. J., Malin, A. J., Hair, G. M., Busgang, S. A., Saland, J. M., & Curtin, P. (2019). Combined exposure to lead, cadmium, mercury, and arsenic and kidney health in adolescents age 12–19 in NHANES 2009–2014. *Environment International*, 131, 104993. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019301990.
- Sarah, R., Tabassum, B., Idrees, N., Hashem, A., & Abd-Allah, E.F. (2019). Bioaccumulation of heavy metals in *Channa punctatus* (Bloch) in river Ramganga (U.P.), India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(5), 979-984. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X19300336.
- Sawut, R., Kasim, N., Maihemuti, B., Hu, L., Abliz, A., Abdujappar, A., & Kurban, M. (2018). Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in the vegetable bases of Northwest China. *Science of the Total Environment*, 642, 864–878.
- Sawut, R., Kasim, N., Aihemuti, B., Hu, L., Abliz, A., Abdujappar, A., & Kurban, M. (2018). Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in the vegetable bases of northwest China. *Science of the Total Environment*, 642, 864–878. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.034>.
- Sharafi, K., Nodehi, R. N., Mahvi, H. A., Pirsahab, M., Nazmara, S., Mahmoudi, B., & Yunesian, M. (2019). Bioaccessibility analysis of toxic metals in consumed rice through an in vitro human digestion model – Comparison of calculated human health risk from raw, cooked and digested rice. *Food Chemistry*, v. 299, p. 125126. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31284243.
- Shi, X., et al. (2011). Seedling growth and metal accumulation of selected woody species in copper and lead/zinc mine tailings. *Journal Environment Science*. 23, 266 – 274.
- Silva, D. S. O., & et al. (2011). Descrição das atividades desenvolvidas nas hortas urbanas no município de Pombal. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, 6(5), 6-16.
- Simão, J. B. P., & Siqueira, J. O. (2001). Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação. *Informe Agropecuário*, 22(210), 18 – 26.
- Tepanosyan, G., Maghalyan, N., Sahakyan, L., Saghatlyan, A., & Van-Hook, R. (2018). Potential health and environmental effects of trace elements and radionuclides from increased coal utilization, 1979. *Environ. Health Perspect.* <[https:// www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC638109/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC638109/)>.
- Varol, M., Kaya, G. K., & Alp, A. (2017). Heavy metal and arsenic concentrations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in a dam reservoir on the Firat (Euphrates) River: Risk-based consumption advisories. *Science of the Total Environment*, 599-600, 1288-1296. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28525936.
- Venzke, T. S. L. (2020). Experiência de agroecologia em horta urbana: sucessos e dificuldades do cultivo de hortaliças na cobertura de prédio, Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 15(1), 40-46.
- Xu, M. Y., et al. (2017). Joint toxicity of chlorpyrifos and cadmium on the oxidative stress and mitochondrial damage in neuronal cells. *Food and Chemical Toxicology*, 103, 246–252. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28286310.