JOURNAL OF EDUCATION, SCIENCE AND HEALTH – JESH
Revista de Educação, Ciência e Saúde
DOI: https://www.doi.org/ 10.52832/jesh.v5i1.490
Home page: https://bio10publicacao.com.br/jesh
e-ISSN: 2763-6119

METAIS PESADOS EM CORRETIVOS E FERTILIZANTES AGRÍCOLAS: METANÁLISE

HEAVY METALS IN AGRICULTURAL CORRECTIVES AND FERTILIZERS: META-ANALYSIS

METALES PESADOS EN CORRECTIVOS Y FERTILIZANTES AGRÍCOLAS: METANÁLISIS

Wanderson Benerval De Lucena[1]; Daniel Carlos Machado[2]; Deysiele Oliveira Alves[3];

[1]Engenheiro Agrônomo e Doutor em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, São Paulo, Brasil; [2]Engenheiro Ambiental e Sanitarista e Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, São Paulo, Brasil; [3]Geógrafa e Doutoranda em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, São Paulo, Brasil.
*Autor correspondente: wandersondelucena@gmail.com.

Recebido: 17/01/2025 | **Aprovado**: 30/01/2025 | **Publicado**: 15/02/2025

Resumo: Metais pesados são comuns na agricultura, em especial, corretivos e fertilizantes agrícolas. Embora alguns desses metais possam ser considerados micronutrientes ou de efeito benéfico, há exceções. Apresentar uma revisão sistemática baseada numa metanálise robusta sobre o uso de corretivos e fertilizantes na agricultura. Revisão bibliográfica seguida de metanálise do tipo forestplot e abordagem multivariada com análise de componentes principais com agrupamentos. Os fertilizantes do tipo superfosfatos apresentam elevados teores de cobre (> 360 mg Kg^{-1}). A adubação com lodo de esgoto solarizado eleva a quantidade de chumbo em Cambissolos. Foram encontradas altas concentrações de zinco e cobre nas folhas quando adubados com lodo de esgoto solarizado, enquanto lodo de esgoto vermicompostado elevou a concentração de cromo nas folhas. Corretivos foram associados ao fornecimento de micronutrientes, enquanto fertilizantes foram associados ao fornecimento de metais pesados, como zinco, cobre e níquel. Existem evidências estatísticas da presença de metais pesados, acrescidos de cromo e chumbo, nas folhas.

Palavras-chave: Relação planta-solo. Lodo de esgoto. Adubação.

Abstract: Heavy metals are common in agriculture, especially in soil amendments and fertilizers. Although some of these metals can be considered micronutrients or have beneficial effects, there are exceptions. To present a systematic review based on a robust meta-analysis on the use of soil amendments and fertilizers in agriculture. Literature review followed by forestplot meta-analysis and multivariate approach with principal component analysis with clusters. Superphosphate fertilizers have high copper levels (> 360 mg kg^{-1}). Fertilization with solarized sewage sludge increases the amount of lead in Cambisols. High concentrations of zinc and copper were found in the leaves when fertilized with solarized sewage sludge, while vermicomposted sewage sludge increased the concentration of chromium in the leaves. Soil amendments were associated with the supply of micronutrients, while fertilizers were associated with the supply of heavy metals, such as zinc, copper and nickel. There is statistical evidence of the presence of heavy metals, such as zinc, copper, chromium and lead in the leaves.

Keywords: Plant-soil relationship. Sewage sludge. Fertilization.

Resumen: Los metales pesados son comunes en la agricultura, especialmente en enmiendas y fertilizantes agrícolas. Aunque algunos de estos metales pueden considerarse micronutrientes o tener un efecto beneficioso, existen excepciones. Presentar una revisión sistemática basada en un metaanálisis robusto sobre el uso de enmiendas y fertilizantes en la agricultura. Revisión bibliográfica seguida de metaanálisis de diagramas de bosque y enfoque multivariado con análisis de componentes principales con conglomerados. Los fertilizantes superfosfato presentan alto contenido de cobre (> 360 mg Kg^{-1}). La fertilización con lodos de depuradora solarizados aumenta la cantidad de plomo en los Cambisoles. Se encontraron altas concentraciones de zinc y cobre en las hojas cuando se fertilizaron con lodos de depuradora solarizados, mientras que los lodos de depuradora vermicompostados aumentaron la concentración de cromo en las hojas. Los agentes correctores se asociaron con el aporte de micronutrientes, mientras que los fertilizantes se asociaron con el aporte de metales pesados, como zinc, cobre y níquel. Existe evidencia estadística de la presencia de metales pesados, incluidos cromo y plomo, en las

hojas.

Palabras-clave: Relación planta-suelo. Lodos de depuradora. Fertilización.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna está circundada por crises, quer sejam, por fatores climáticos, logísticos, em estratégias para o manejo do solo ou ainda, na manutenção dos equipamentos agrícolas. A cada dia, o setor agrícola enfrenta problemas quanto à produção de resíduos urbanos, além de materiais de uso agropecuário com potencial tóxico às plantas e animais. Para manter os índices produtivos, bem como assegurar a segurança alimentar às nações a produção agrícola encara alguns desafios que vai desde o uso de fertilizantes e corretivos contaminados com metais pesados até o uso de resíduos orgânicos urbanos que também possuem quantidades significativas de metais potencialmente tóxicos vindos da atividade humana e o desenvolvimento industrial.

Uma preocupação é a possibilidade de contaminação do solo quando se usa resíduos na agricultura. No caso do lodo de esgoto (LE), a preocupação está associada aos metais pesados, como chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu) e zinco (Zn), além de organismos patogênicos, como bactérias, protozoários, vírus entre outros. (Nascimento *et al.*, 2014).

A aplicação do LE contaminado na produção agrícola ocasiona toxidez às plantas e microrganismos do ecossistema solo, afetando a qualidade dos solos brasileiros. Nas plantas, esses metais podem acumular-se e serem transferidos para animais e seres humanos, gerando um grave problema de saúde pública. Estudos ao longo do tempo têm sido conduzidos prevendo a utilização de corretivos e fertilizantes orgânicos ou não cada vez mais contaminados sem prejudicar a saúde do solo e dos seres humanos, garantindo a qualidade do solo e a segurança alimentar e nutricional.

Khwairakpam & Bhargava (2009) constataram que o processo de vermicompostagem reduziu os níveis de matais em LE. O que evidencia o uso de técnicas para tornar a utilização desse resíduo orgânico como fonte de fertilização as culturas agrícolas brasileiras, podem até a médio ou longo prazo trazer benefícios com o aumento da matéria orgânica do solo (MOS), estruturação de agregados e melhoria da atividade biológica dos solos. Outra tática a se considerar pode ser o uso de plantas acumuladoras para realização de fitoextração de áreas com potencial poluente derivados de fertilizantes sintéticos, minerais ou orgânicos. Cutright *et al.* (2010) apontaram o uso de plantas de girassol com tal potencial na fitorremediação.

Diante do que foi apresentado, o objetivo desse estudo foi apresentar uma revisão sistemática baseada numa metanálise robusta sobre o uso de corretivos e fertilizantes na agricultura sabendo que esses podem oferecer potencial contaminante devido a presença de metais pesados, para a realização dessa pesquisa os autores basearam na pesquisa teórica.

2 MATÉRIAS E MÉTODOS

2.1 Levantamento de hipóteses

A hipótese fundamental baseia-se que a aplicação de corretivos e fertilizantes no solo possui dois vieses: o primeiro e muito importante para nutrição mineral de plantas é que a contaminação de metais pesados que existem nessas fontes pode atuar como fertilizantes, em especial, de micronutrientes, como, Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Níquel (Ni). Por outro lado, contaminantes como, Cobalto (Co), Cobre (Cu), Chumbo (Pb) entre outros podem oferecer riscos à saúde das plantas e seres humanos. Nesse segundo caso, deve propor estratégias contidas na literatura para lidar com essas questões e, assim mitigar os danos ao solo e a saúde.

2.2 Aporte metodológico

Nessa metodologia de natureza qualitativa, visou-se buscar na literatura recente (últimos 15 anos) artigos científicos, livros, teses e dissertações que tratem do tema de "Metais pesados em corretivos e fertilizantes agrícolas" objetivando a construção de um material de leitura simples e com alto teor científico e robusto na construção da informação do tema central.

Para realização dessa abordagem metodológica, foram utilizadas as seguintes plataformas de busca: Google Acadêmico, Scopus e Scielo. Assim, para viabilizar essa revisão de literatura, foram propostos três temas que serão amplamente discutidos na secção 3 – estudo teórico.

2.3 Análise de dados

A partir das leituras realizadas na revisão de literatura, sucedeu à metanálise com uso do pacote *forestplot* (Gordon & Lumley, 2023) em linguagem R (R Core Team, 2022). Nesse estudo, foram usados os limites de mínimo, máximo e médio dos valores de metais pesados mencionados em artigos publicados e revisados por pares, o que elevou o rigor científico dessa metanálise. Enquanto a análise multivariada de componentes principais com agrupamentos foi performada com ajuda do pacote *factoextra* (Kassambara & Mundt, 2020), serviu para analisar as relações entre os metais pesados e as fontes onde foram mencionados na literatura.

3 ESTUDO TÉORICO

3.1 Potencial de fertilizantes e corretivos no aporte de micronutrientes ao solo

Elementos, como Zn, Fe, Mn e Ni, são considerados essenciais ao desenvolvimento e à sobrevivência de plantas e animais, pois estão associados direta ou indiretamente a vias metabólicas importantes à manutenção da vida. Em solos tropicais, existe um grave problema com a agricultura e os baixos teores de micronutrientes em solos. Assim, uma estratégia para adição de micronutrientes é via corretivos e fertilizantes agrícolas derivados da própria rocha (Carvalho *et al.*, 2012).

Em se tratando do aporte de Zn no solo, valores na faixa de 10 a 20 mg kg^{-1} são considerados deficientes (Tito *et al*., 2011). Assim, o incremento de Zn nesses solos pode ocorrer por via de fertilizantes, corretivos ou resíduos orgânicos (logo de esgoto, composto, água residuária). Carvalho *et al.* (2012) em seu estudo analisando diversas fontes de corretivos e fertilizantes na região nordeste brasileira, concluiu que, os fertilizantes fosfatados são que apresentam maiores teores de micronutrientes na sua composição, sendo assim podem ser utilizando visando suprir as demandas de micronutrientes no solo (Ding *et al.,* 2020).

Assim, no manejo de adubação deve-se considerar as contribuições que as impurezas dos fertilizantes e corretivos podem favorecer ao ecossistema solo, garantindo maior sustentabilidade e uso dos recursos naturais, além da segurança do solo a partir do monitoramento do aporte nutricional do solo.

3.2 Metais pesados em corretivos e fertilizantes e seus riscos ao ambiente e a saúde

Contaminantes em adubos e corretivos podem ser uma alternativa para o aporte de micronutrientes no solo, por outro lado, esses contaminantes em excesso durante muito tempo podem ocasionar aumento excessivo não apenas de nutrientes de plantas, mas de outros que possuem toxicidade elevada para os mamíferos e o ambiente. Um dos desafios da agricultura contemporânea é o uso de resíduos urbanos como fertilizantes agrícolas. Embora esses resíduos orgânicos possuam potencial para uso na agricultura, outra dificuldade é a presença de patógenos e principalmente de metais pesados.

No solo, o mecanismo dos metais pesados é acumulativo, pois no geral, não participa de vias essenciais no organismo (com exceção dos mencionados na secção anterior). Ressalta-se ainda que, mesmo assim em valores elevados, podem causar mal à saúde do solo, das plantas e dos animais. Uma preocupação global na atualidade está atrelado ao crescente potencial poluidor que os metais pesados possuem, pois segundo Carvalho *et al*., 2012 afeta diretamente a segurança global dos solos e a segurança alimentar, podendo inviabilizar a produção agrícola.

3.3 Estratégias de manejo para utilização de corretivos e fertilizantes no solo com metais pesados

A principal estratégia a ser tomada no manejo de adubação é a quantificação de metais pesados nos adubos orgânicos, fertilizantes e corretivos. Essa estratégia é fundamental para avaliar e comparar com os parâmetros encontrados na legislação brasileira e internacional. Assim, quantificar os teores desses elementos potencialmente tóxicos no solo também é vital, uma vez que eles podem ocorrer naturalmente em solos provenientes da rocha mãe. Como alternativa à extração e remediação de áreas contaminadas por metais pesados, tem-se a fitorremediação, técnica que consiste no uso de plantas acumuladoras para extrair o metal pesado do ambiente (Estrela *et al.,* 2018).

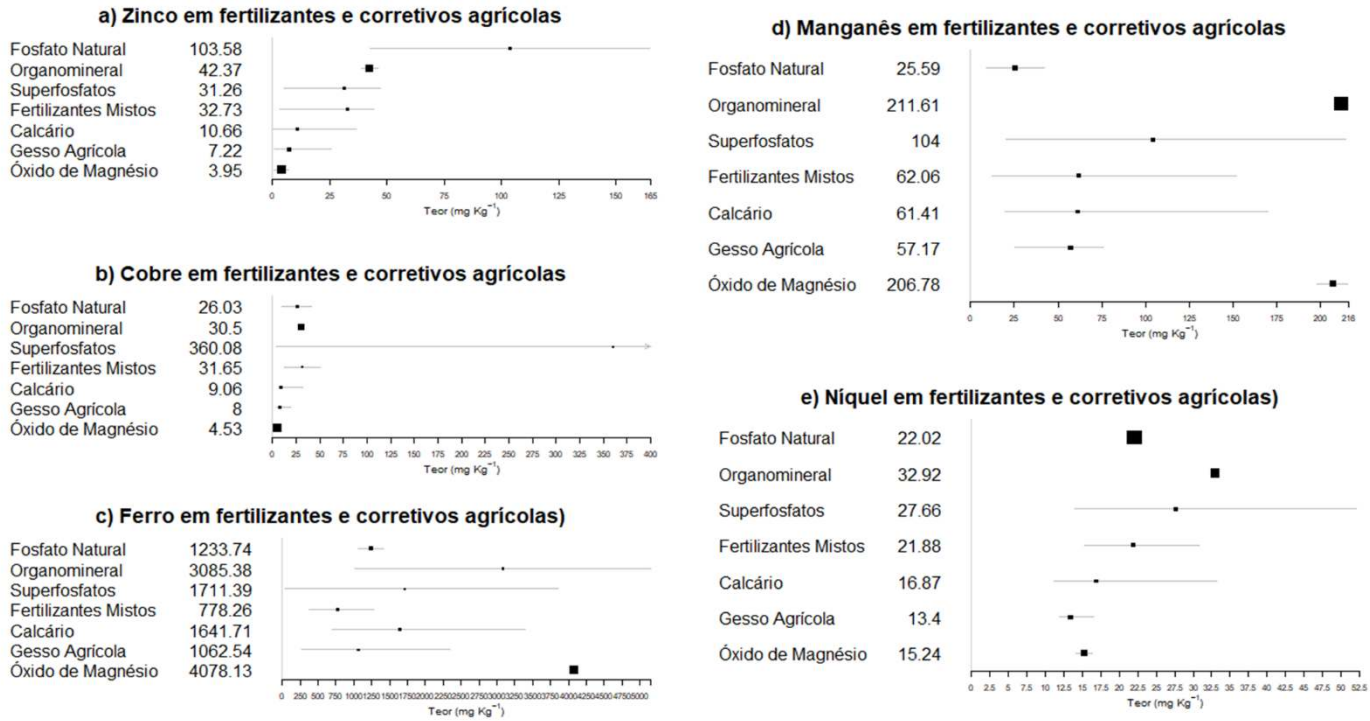
4 METANÁLISE

A metanálise compara os resultados de diferentes artigos numa única e resumida discussão, o que favorece resultados mais sólidos e concisos. Assim, a abordagem multivariada empregada auxiliou na compreensão das

associações. Essa análise focou-se em dois principais estudos que forneceram dados para suporte da avaliação estatística da análise *forestplot* (metanálise), essas análises estão nas Figuras de 1 a 3.

O estudo de Carvalho *et al.* (2012) traz a análise de metais pesados em diferentes fontes de corretivos e fertilizantes agrícolas comercializados no Nordeste brasileiro. O fosfato natural apresentou uma tendência de 50 a 165 mg Kg^{-1} de zinco (Figura 1a), os superfosfatos que incluem os superfosfatos, simples e triplo demostraram altas quantidades de contaminantes, como, cobre (360,08 mg Kg^{-1}). Já como fonte de Ferro e Manganês, destacam-se Óxido de Magnésio (> 4000 mg Kg^{-1}; > 200 mg Kg^{-1}, respectivamente) e fertilizantes Organomineral (> 3000 mg Kg^{-1}; > 200 mg Kg^{-1}, respectivamente), embora fertilizantes organomineral possam conter impurezas, como, zinco (42,37 mg Kg^{-1}) e níquel (32,92 mg Kg^{-1}) (Figuras 1a, 1e).

Figura 1 – Metanálise (*forestplot*) para metais pesados em corretivos e fertilizantes agrícolas comercializados no Nordeste.



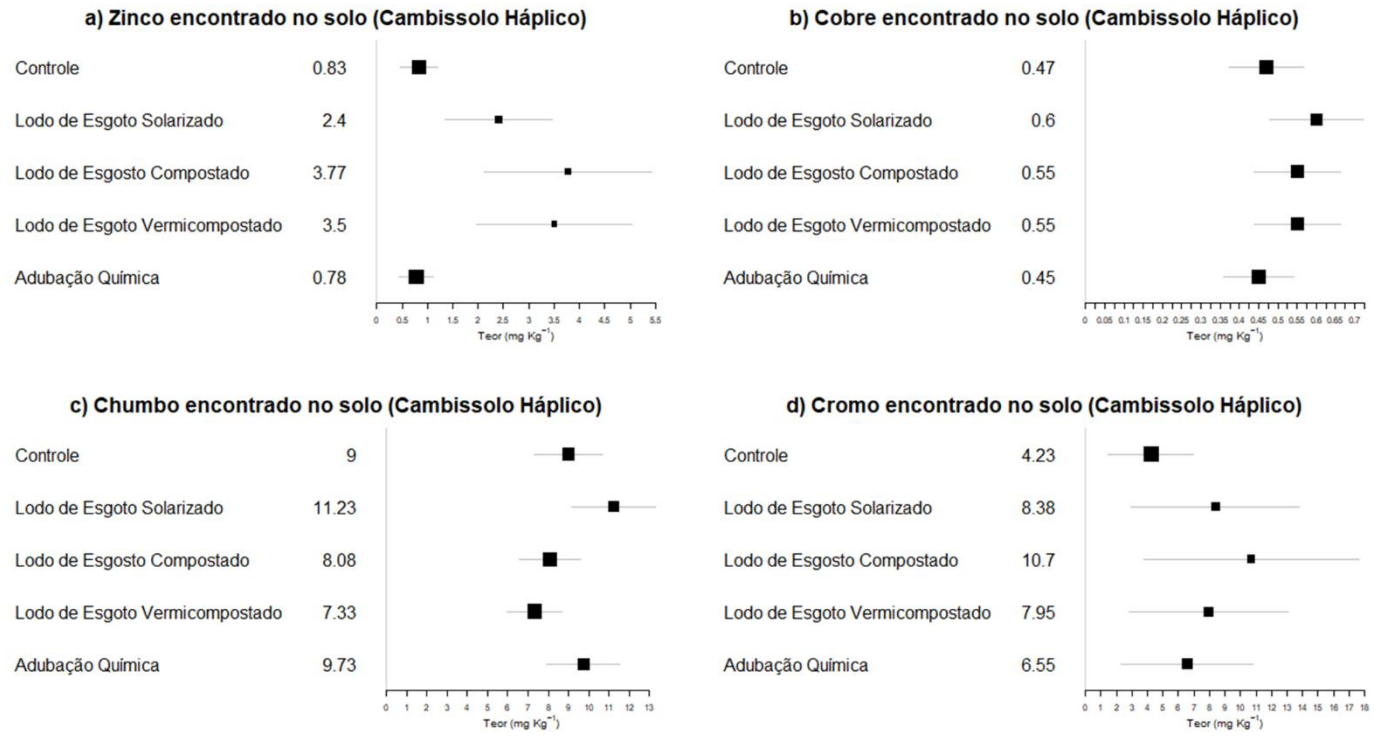
Fonte: Carvalho *et al.* (2012).

O estudo de Nascimento *et al.* (2014) apresenta uma abordagem diferente de Carvalho *et al.* (2012), ao avaliar diferentes fontes de lodo de esgoto, estabelecendo uma única fonte de nutrientes para plantas, denominada de adubação química (que inclui os superfosfatos, além de fontes de Nitrogênio). O lodo de esgoto é uma alternativa a adubação, pois fornece nutrientes ao solo de forma lenta e gradativa, contudo, contaminantes são frequentemente encontrados tendo em vista os dejetos humanos em esgotos de grandes centros urbanos o que pode inviabilizar o uso na agricultura e fornecer risco à saúde.

As técnicas de compostagem ou de vermicompostagem do lodo de esgoto aparecem como estratégia para amenizar os efeitos dos metais pesados, pois, essas técnicas possibilitam uma espécie de "filtragem" desses metais, diminuindo a toxicidade no ambiente, agricultura e para segurança no consumo. Na metanálise, o lodo de esgoto

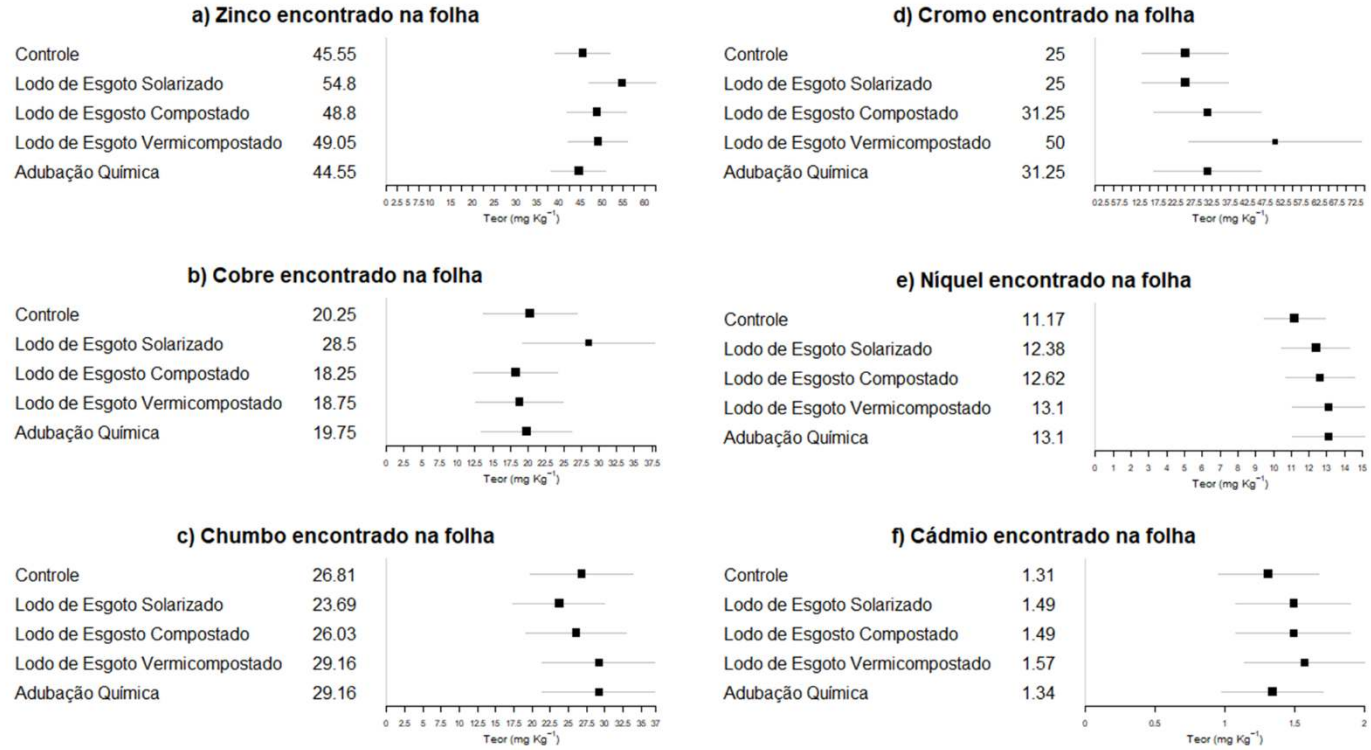
solarizado e a adubação química foram as estratégias menos eficientes para a diminuição (dispersão) do chumbo no solo.

Figura 2 – Metanálise (*forestplot*) para metais pesados no solo para a camada 0,0 a 0,20 m de um Cambissolo Háplico.



Fonte: Nascimento *et al.* (2014).

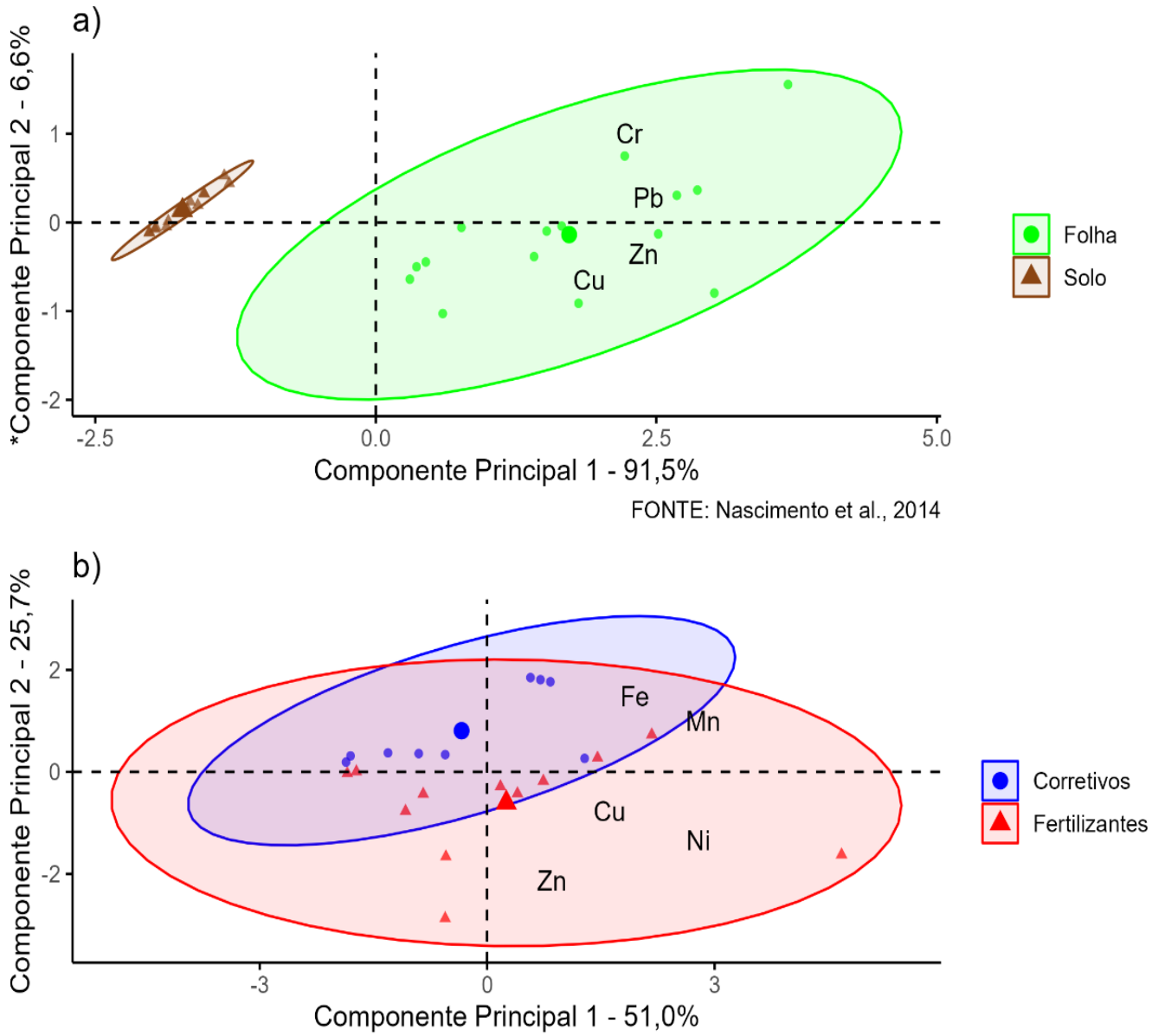
Figura 3 – Metanálise (*forestplot*) para metais pesados em folhas de Girassol (*Helianthus annuus*).



Fonte: Nascimento *et al.* (2014).

O estudo que analisou as folhas de Girassol (*Helianthus annuus*), submetidas a essas diferentes formas de adubação indica mobilidade de metais pesados do solo para as folhas, o que pode fornecer risco e esse mesmo efeito ocorrer em espécies folhosas, em que o consumo humano acontece pela parte foliar. Embora, as folhas do girassol não sejam para comercialização ou consumo, os teores apontados por Nascimento *et al.* (2014), os dados sugerem cautela no uso do lodo na agricultura, no entanto, outros estudos que consideram espécies folhosas na alimentação humana e demais tipos de solos, são necessários para melhor entendimento dos metais pesados na relação solo-planta (Figura 3). Novos estudos são necessários para ampliar o conhecimento sobre metais pesados no solo, planta e sua relação com a natureza e consumo humano.

Figura 4 – Biplot da análise de componentes principais com agrupamentos. Em: a) metais pesado no solo e na planta, b) em corretivos e fertilizantes agrícolas. Asteriscos (*) indicam não significativo.



FONTE: Nascimento et al., 2014

Fonte: Carvalho et al. (2012).

A análise de componentes principais (ACP) com agrupamentos associou a presença de metais pesados em folhas de Girassol (Figura 4a). Cromo, chumbo, zinco e cobre foram associados à folha e não relacionados com o solo. Embora a componente principal 2 não foi significativa, apenas a componente principal 1 forneceu uma explicação da variabilidade encontrada nos dados de 91,5%, valor extremamente alto que denota a evidência estatística dessa associação.

A ACP mostrou uma associação entre corretivos do solo com os fornecimentos de micronutrientes, como Ferro e Manganês (Figura 4b), mas isso já foi observado anteriormente. Além disso, a análise evidenciou que os fertilizantes, além do fornecimento desses micronutrientes, foram mais associados aos contaminantes, como cobre, zinco e níquel.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante os resultados obtidos, observou-se que a carência de mais estudos sobre a temática é mais que evidente para que sejam verificadas com mais exatidão o potencial que esses contaminantes podem trazer de benefícios ao solo, contudo observou que quando mal manejado pode trazer implicações para a qualidade do solo e segurança alimentar.

Corretivos, como Gesso e Calcário, foram associados ao fornecimento de micronutrientes, enquanto fertilizantes agrícolas, como, os superfosfatos (superfosfato simples e triplo), foram associados ao fornecimento de metais pesados, como zinco, cobre e níquel. Existem evidências estatísticas da presença de metais pesados, como, zinco, cobre, cromo e chumbo nas folhas o que pode fornecer problemas a saúde humana, novos estudos em espécies em que o consumo humano é feito na folha, como as folhosas, alface, rúcula e afins devem promover mais informações do impacto na saúde.

Estudos como estes buscam entender a evolução da ciência ao mesmo tempo que pontuam a pauta de novos estudos, assim, atuam como norteadores da pesquisa científica no fornecimento de novos nichos de estudo e pesquisa. Os estudos conduzidos no campo das ciências agrárias também precisam estabelecer uma relação entre a presença de metais pesados em corretivos, fertilizantes, solos e plantas com a saúde humana, além de apontar os possíveis riscos, portanto, para a condução desses estudos é necessária com a formação de uma equipe multidisciplinar.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Doutor Thiago Assis Rodrigues Nogueira – professor da disciplina de qualidade do solo e segurança alimentar do programa de pós-graduação em Ciência do Solo da Unesp/FCAV.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Wanderson Benerval De Lucena – Escrita, análise estatística, edição e revisão.
Daniel Carlos Machado – Revisão e edição final.
Deysiele Oliveira Alves – Revisão, escrita final e edição.

REFERÊNCIAS

Carvalho, V. G. B. De; Nascimento, C. W. A. Do; Biondi, C. M. (2012). Potencial de fertilizantes e corretivos no aporte de micronutrientes ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* v. 36, p. 931-938. https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300023

Ding, Z.; Kheir, A. M. S.; Ali, M. G. M.; Ali, O. A. M.; Abdelaal, A. I. N.; Lin, X.; Zhou, Z.; Wang, B., Liu, B.; He, Z. (2020). The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit

irrigation on soil properties, phosphosrus tionation and wheat productivity. *Scientific Reports*, 10, 2736. https://doi.org/10.1038/s41598-020-59650-8

Estrela, M. A.; Chaves, L. H. G.; Silva, L. N. (2018). Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. *Revista Ceuma Perspectivas.* v. 31, p. 160-172.

Gordon, M.; Lumley, T. *forestplot:* Advanced Forest Plot Using 'grid' Graphics. R package version 3.1.3. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=forestplot. 2023.

Kassambara, A.; Mundt, F. (2020). *factoextra:* Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=factoextra.

Luz, F. B. Da; Silva, V. R. Da; Mallmann, F. J. K.; Pires, C. A. B.; Debiasi, H. Franchini, J. C.; Cherubin, M. R. (2019). Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* v. 281, p. 100-110. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.006

Nascimento, A. L.; Sampaio, R. A.; Cruz, S. F. Da; Junior, G. R. Z.; Barbosa, C. F.; Fernandes, L. A. (2014). Metais pesados em girassol adubado com lodo de esgota submetido a diferentes processos de estabilização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* v. 18, n. 7, p. 694-699. https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700004

R Core Team. *R:* A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. https://www.R-project.org/. 2022.

Soares, A. De P.; Weber, L. Dos S.; Espírito Santo, O. do. (2015). Metais pesados em calcários do estado de Mato Grosso. *Unesp – Geociências.* v. 34, n.3, p. 465-474.

Tito, G. A.; Chaves; L. H. G.; Guerra, H. O. C. Soares, F. A. L. (2011). Uso de bentonita na remediação de solos contaminados por zinco: efeito na produção de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* v. 15, n. 9, p. 917-923.