

## Teores de metais pesados e sódio no solo e em cultivo de girassol adubado com lodo de esgoto

Heavy metals and sodium concentrations in soil and sunflower crops fertilized with sewage sludge

Contenido de metales pesados y sodio en el suelo y en el cultivo de girasol fertilizado con lodos de depuradora

Recebido: 17/09/2021 | Revisado: 22/09/2021 | Aceito: 24/09/2021 | Publicado: 26/09/2021

### **Pablo Fernando Santos Alves**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9715-9111>  
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: [pablofernando.agro@gmail.com](mailto:pablofernando.agro@gmail.com)

### **Hermann Cruz de Albuquerque**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3329-3826>  
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: [agrohermann@yahoo.com.br](mailto:agrohermann@yahoo.com.br)

### **Regynaldo Arruda Sampaio**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3214-6111>  
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: [rsampaio@ufmg.br](mailto:rsampaio@ufmg.br)

### **Geraldo Ribeiro Zuba Junio**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1368-8257>  
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: [juniozuba@gmail.com](mailto:juniozuba@gmail.com)

### **Luiz Arnaldo Fernandes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9877-1924>  
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: [larnaldo@ufmg.br](mailto:larnaldo@ufmg.br)

### **Márcio Neves Rodrigues**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8062-4846>  
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: [marcionrodrigues@gmail.com](mailto:marcionrodrigues@gmail.com)

### **Resumo**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre os teores de metais pesados e sódio no solo e nas folhas do girassol (*Helianthus annuus* L.). O experimento foi realizado em área de Nitossolo Háplico do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais em Montes Claros - MG. Os tratamentos corresponderam a quatro doses de lodo de esgoto da ETE Montes Claros - MG (0; 10; 20 e 30 t ha<sup>-1</sup>, em base seca), com seis repetições, no delineamento em blocos casualizados. Foram avaliados os teores de Ni, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu e Na no solo e na planta. A aplicação de doses de até 30 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto na adubação de girassol não influenciou os teores de Ni, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu e Na no solo e no tecido foliar da planta, não havendo limitação ao uso agrônômico deste resíduo para os elementos citados.

**Palavras-chave:** Biossólido; Resíduos urbanos; Poluição do solo.

### **Abstract**

This work aimed to evaluate the effect of applying sewage sludge on the levels of heavy metals and sodium in the soil and in the leaves of sunflower (*Helianthus annuus* L.). The experiment was performed on Oxisol of the Institute of Agrarian Sciences of the Federal University of Minas Gerais in Montes Claros - MG. Treatment accounted for four doses of sewage sludge of the ETE Montes Claros - MG (0; 10; 20 e 30 t ha<sup>-1</sup>, in dry basis), with six replications, in randomized block. Have been assessed the levels of Ni, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu and Na in soil and plant. The application of doses of up to 30 t ha<sup>-1</sup> of sewage sludge in sunflower fertilization did not influence the concentrations of Ni, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu and Na in soil and leaf tissue of the plant, with no limitation on agronomical use this waste to the elements mentioned.

**Keywords:** Biosolids; Urban waste; Soil pollution.

### **Resumen**

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de lodos de depuradora sobre el contenido de metales pesados y sodio en el suelo y hojas de girasol (*Helianthus annuus* L.). El experimento se realizó en el área

Haplic Nitosol del Instituto de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Minas Gerais en Montes Claros - MG. Los tratamientos correspondieron a cuatro dosis de lodos de depuradora de ETE Montes Claros - MG (0, 10, 20 y 30 t ha<sup>-1</sup>, en base seca), con seis repeticiones, en un diseño de bloques al azar. Se evaluaron los contenidos de Ni, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu y Na en el suelo y en la planta. La aplicación de dosis de hasta 30 t ha<sup>-1</sup> de lodos de depuradora en la fertilización de girasol no influyó en los niveles de Ni, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu y Na en el suelo y en el tejido foliar de la planta. Uso agronómico de este residuo para los elementos antes mencionados.

**Palabras clave:** Biosólidos; Residuos urbanos; Contaminación del suelo.

## 1. Introdução

Os centros urbanos produzem sistematicamente uma enorme quantidade de resíduos, os quais se acumulam no ambiente sem o devido tratamento ou uso que permita sua reciclagem. Em meio a esses resíduos, pode-se destacar o lodo de esgoto, resultante do tratamento das águas servidas, que tem potencial para uso agrícola. É considerável neste resíduo o percentual de matéria orgânica e de elementos essenciais para as plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais (Dhanker *et al.*, 2021).

Para os solos ácidos e pobres em nutrientes, o uso agrícola do lodo de esgoto adquire especial importância, uma vez que pode se constituir em uma boa alternativa para a reciclagem de nutrientes, a melhorias das condições físicas e químicas do solo, e um destino ambientalmente adequado para este resíduo (Maia *et al.*, 2018; Sant'ana *et al.*, 2018; Putti *et al.*, 2021).

Uma das principais restrições ao uso do lodo na agricultura é a presença de metais pesados, que pode causar a contaminação do solo, lençol freático, plantas e animais (EID *et al.*, 2021). Entretanto, em razão da enorme variação e interação entre lodos e solos, não existem resultados conclusivos sobre a efetiva contaminação do ambiente quando do uso agrícola deste resíduo (Agoro *et al.*, 2020; Lin *et al.*, 2020; Zoghalmi *et al.*, 2020). A concentração de metais pesados presentes no lodo varia de acordo com o tipo de esgoto que chega a estação de tratamento, sendo que o esgoto de indústria tem concentração de metais pesados mais elevada do que o esgoto domiciliar (Tytła *et al.*, 2016). De modo geral, as concentrações de metais presentes no lodo são bem maiores do que aquelas naturalmente encontradas em solos, surgindo à necessidade de monitorar os riscos do aumento desses elementos no ambiente, em consequência do uso agrícola deste resíduo.

A aplicação do lodo de esgoto em solos agrícolas pode aumentar o teor de sódio do solo, podendo afetar a absorção de água e de nutrientes pelas plantas, em razão do aumento da pressão osmótica da solução do solo, ou indiretamente, pelo seu efeito dispersante sobre as argilas, causando desestruturação do solo e prejudicando a infiltração de água, aeração e crescimento das raízes (Garcia *et al.*, 2009; Paes *et al.*, 2013; Paes *et al.*, 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os teores de metais pesados e sódio no solo e nas folhas de girassol, em resposta à adubação com doses de lodo de esgoto da ETE Montes Claros – MG, em dois cultivos sucessivos.

## 2. Metodologia

O experimento foi realizado no ICA/UFMG em Montes Claros - MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, em área de Nitossolo Háptico, com as seguintes características químicas e físicas da camada de 0-20 cm, conforme metodologias preconizadas pela EMBRAPA (2017): matéria orgânica = 3,39 dag kg<sup>-1</sup>; pH em água = 7,0; CTC total = 10,87 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; areia 30,00 dag kg<sup>-1</sup>; silte = 26,0 dag kg<sup>-1</sup> e argila = 44,0 dag kg<sup>-1</sup>, e na camada de 20-40 cm de profundidade: matéria orgânica = 2,0 dag kg<sup>-1</sup>; pH em água = 5,4; CTC total = 9,66 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; areia 30,00 dag kg<sup>-1</sup>; silte = 16,0 dag kg<sup>-1</sup> e argila = 54,0 dag kg<sup>-1</sup>. Foi cultivado o girassol (*Helianthus annuus* L.) híbrido simples Hélio 250.

Os tratamentos corresponderam a 4 doses de composto de lodo de esgoto (0; 10; 20 e 30 t ha<sup>-1</sup>, em base seca), com seis repetições, no delineamento em blocos casualizados. O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em Montes Claros – MG, operada pela COPASA-MG. A linha de tratamento é composta por tratamento

preliminar e reator anaeróbio UASB, com o lodo gerado no reator UASB desidratado em secadora térmica a 300°C por 30 minutos. As doses de composto de lodo de esgoto foram baseadas na concentração de nitrogênio disponível neste resíduo (6,0 kg t<sup>-1</sup>), calculados de acordo com metodologias e fórmulas descritas na resolução CONAMA n° 498 de 19 de agosto de 2020 (Brasil, 2020), e na recomendação para suprir a exigência da cultura de 60 kg ha<sup>-1</sup>, preconizada pela 5ª Aproximação da Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). As características químicas do lodo de esgoto estão descritas na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas do lodo de esgoto e quantidade de elementos aplicados com as diferentes doses aplicadas.

Elemento	N <sub>disp</sub>	Na	Ni	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn
Concentração <sup>1</sup>	-- g kg <sup>-1</sup> --							
	6,0	0,2	22,63	37,17	1,45	42,85	135,50	531,00
Limite <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	-	-	420	300	39	1.000	1.500	2.800
Lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )				Quantidades aplicadas (kg ha <sup>-1</sup> )				
10	60	2,00	0,23	0,37	0,014	0,43	1,36	5,31
20	120	4,00	0,46	0,74	0,029	0,86	2,72	10,62
30	180	6,00	0,69	1,11	0,043	1,29	4,08	15,93
Limite <sup>2</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	-	-	74	41	4	154	137	445

<sup>1</sup>Metodologias de Tedesco *et al.* (1995).

N<sub>disp</sub> = Teor de nitrogênio disponível, calculado de acordo com a Resolução CONAMA 498 (BRASIL, 2020).

<sup>2</sup>Concentração ou carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo ou produto derivado em solos agrícolas, conforme Resolução CONAMA 498 (BRASIL, 2020).

Fonte: os autores.

O primeiro cultivo de girassol foi realizado no período de abril a agosto de 2011 e, o segundo, de abril a agosto de 2012. O intuito do segundo cultivo foi o de avaliar o efeito residual da adubação com lodo de esgoto, tendo sido o semeio realizado nas mesmas linhas do primeiro cultivo, após a incorporação dos restos vegetais do primeiro ciclo. As doses de lodo de esgoto citadas constituíram os tratamentos do primeiro cultivo, que já se encontravam dispostos no delineamento em blocos casualizados, com seis repetições.

As parcelas experimentais foram constituídas por quatro linhas de 3,0 metros de comprimento com espaçamento entre plantas de 0,3 m e, entre linhas, de 0,8 m. A área útil de cada parcela experimental foi formada pelas duas linhas centrais (20 plantas), desprezando-se 0,5 m de cada extremidade, considerada bordadura.

No preparo do solo foram realizadas operações mecânicas de gradagem e abertura de sulcos com espaçamento de 0,8 m e profundidade de 20 cm. A adubação foi realizada em uma única etapa nos sulcos de plantio utilizando-se o lodo de esgoto, conforme os tratamentos estabelecidos, sendo este adubo incorporado com enxada. Foram semeadas 3 sementes de girassol e, ao completar 15 dias após a emergência, foi realizado um desbaste deixando-se apenas uma planta. Aos 30 e 60 dias após o plantio foram efetuadas capinas manuais para controle de plantas espontâneas. Durante o ciclo da cultura foi realizada irrigação por aspersão.

Em ambos os cultivos, no início do florescimento da cultura, foram coletadas amostras de folhas do terço superior de 12 plantas, escolhidas aleatoriamente na parcela útil, para análise química dos teores de Ni, Pb, Cd, Cr, Cu, Zn e Na (Malavolta *et al.*, 1997; Tedesco *et al.*, 1995).

Em cada cultivo, quando o girassol atingiu a fase “R9”, cujos capítulos encontravam-se voltados para baixo, realizou-se a colheita e, posteriormente foram retiradas, entre plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, oito sub-amostras de solo por parcela para formarem amostras compostas para análises dos teores totais de Ni, Pb, Cd, Cr, Cu e Zn, após extração com

água-régia e determinação por espectrofotometria de absorção atômica (International Standard Organisation, 1995), enquanto a capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida pelo método do acetato de sódio e o Na trocável extraído com uma solução de acetato de amônio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0 e determinado por fotometria de chama (Tedesco *et al.*, 1995; EMBRAPA, 2017). A percentagem de sódio trocável (PST) foi obtida a partir dos dados da CTC e do Na trocável, pela equação  $\text{PST} = (\text{Na}^+/\text{CTC}) \times 100$ .

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, quando significativa, procedeu-se a análise de regressão, considerando-se significativos os coeficientes que apresentaram até 10% de significância pelo teste t. Para as médias de cada variável, foram estimados intervalos de confiança testados a 5% de probabilidade pelo teste t. As análises foram realizadas em Ambiente R (R Core Team, 2021).

### 3. Resultados e discussão

Analisando as características químicas apresentadas pelo lodo de esgoto e as doses aplicadas deste resíduo (Tabela 1), constata-se que as concentrações de metais presentes no lodo estão abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 498 (Brasil, 2020). Assim, mesmo com a aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto, o que corresponde a três vezes a dose recomendada para a adubação do girassol, não houve riscos de contaminação do solo por metais pesados, visto que, as quantidades adicionadas foram muito inferiores à carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado.

Neste estudo não foram constatadas alterações nos teores de metais pesados no solo, ao final dos cultivos de girassol, em consequência da aplicação de lodo de esgoto (Tabela 2). Verificou-se também que os valores ficaram abaixo dos limites estabelecidos pela United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1993) para metais pesados no solo. Resultados similares com a aplicação de cerca de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto, procedente da ETE de Juramento – MG, foram obtidos por Nascimento *et al.* (2014).

A falta de efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre os teores de metais pesados no solo pode ser atribuída aos baixos teores existentes no lodo e a baixa quantidade aportada ao solo por este resíduo (Tabela 1), uma vez que foi feita apenas uma adubação e plantio. Todavia, pode-se inferir que aplicações sistemáticas ou em altas doses de lodos com maior contaminação com metais pesados podem ter maior impacto em relação ao acúmulo destes elementos no solo, conforme observado por Silva *et al.* (2006).

**Tabela 2.** Teores de metais pesados no solo.

Metal pesado (mg dm <sup>-3</sup> )	Lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )	1º Cultivo		2º Cultivo		Limite <sup>1</sup>
		0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	
Ni	0	18,05	19,17	-	-	420
	10	17,16	19,66	-	-	
	20	16,49	18,11	-	-	
	30	16,38	19,33	-	-	
	Média/IC	17,02 ± 1,37	19,07 ± 0,87	-	-	
Pb	0	11,25	8,93	18,58	15,88	300
	10	11,71	9,12	19,33	17,92	
	20	11,46	8,27	16,92	17,54	
	30	11,18	7,43	17,04	16,42	
	Média/IC	11,40 ± 0,86	8,44 ± 0,90	17,97 ± 1,59	16,94 ± 0,81	
Cd	0	1,31	1,24	0,00	0,00	39
	10	1,26	1,22	0,00	0,00	
	20	1,23	1,27	0,00	0,00	
	30	1,30	1,24	0,00	0,00	
	Média/IC	1,27 ± 0,09	1,24 ± 0,09	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	
Cr	0	139,30	73,59	-	-	1.000
	10	149,73	68,27	-	-	
	20	151,80	88,16	-	-	
	30	147,66	59,30	-	-	
	Média/IC	147,12 ± 23,32	72,33 ± 12,94	-	-	
Cu	0	13,46	14,13	19,73	20,39	1.500
	10	12,82	12,98	20,05	22,07	
	20	10,85	13,93	19,88	20,35	
	30	12,56	13,95	20,42	20,27	
	Média/IC	12,42 ± 1,15	13,75 ± 0,91	20,02 ± 2,09	20,77 ± 1,88	
Zn	0	33,03	31,36	41,55	38,26	2.800
	10	33,85	29,35	39,81	40,21	
	20	31,06	29,47	38,52	39,52	
	30	37,32	30,11	43,32	43,08	
	Média/IC	33,82 ± 2,55	30,07 ± 1,26	40,80 ± 2,13	40,27 ± 2,35	

<sup>1</sup>Para o cálculo foi considerada a densidade do solo igual a 1 g cm<sup>-3</sup> e 20 cm de espessura da camada de solo (USEPA, 1993).

As análises de Ni e Cr no solo no segundo cultivo de girassol estão sendo repetidas.

IC = intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: os autores.

A ordem de decrescente de concentração de metais no lodo de esgoto encontrada no lodo de esgoto foi: Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd (Tabela 1). Entretanto, no solo, em ambos os cultivos, a ordem foi: Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd (Tabela 2), o que pode estar relacionado as diferentes mobilidades dos metais e absorção diferencial de alguns elementos pela planta (Bertocini & Mattiazzo, 1999).

Para o Ni, Cd, Cu e Zn não houve diferença das concentrações entre as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, enquanto para o Pb e o Cr, as maiores concentrações ocorreram na camada de 0-20 cm do solo (Tabela 2). As maiores concentrações de Pb e Cr na camada superficial do solo podem ser atribuídas a baixa mobilidade destes elementos no solo, uma vez que, com o pH em torno de 7,0, podem ser adsorvidos fortemente ao húmus, óxidos metálicos e argilas, e formar compostos metálicos insolúveis (Bertoncini & Mattiazzo, 1999; Costa *et al.*, 2007).

A Tabela 2 evidencia um incremento dos teores dos metais no solo ao final do segundo cultivo de girassol, exceto Cd que não foi detectado, bem como, um melhor equilíbrio das concentrações nas duas profundidades estudadas, o que pode ser atribuído à incorporação dos restos culturais do girassol do primeiro cultivo e de plantas daninhas crescidas na área ao longo de aproximadamente um ano. De todas as formas, comparando-se os resultados obtidos neste experimento com os de Marchiori Júnior (2002), constata-se que os teores de Ni, Pb, Cd, Cr e Cu estão dentro da faixa normalmente encontrada para diversos Latossolos sob cultivos no Estado de São Paulo.

O Na e a PST também não foram influenciados pela aplicação de lodo de esgoto (Tabela 3). Além disso, o valor de PST atingido no solo foi da ordem de 2%, o que é muito inferior ao limite de 15%, o qual causa grave problema de dispersão de argilas e comprometimento das propriedades hidráulicas do solo, conforme descrito em Santos *et al.* (2006). Entretanto, Nascimento *et al.* (2004) verificaram em argissolo aumento no teor de sódio trocável somente a partir da dose de lodo de esgoto de 30 t ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, Trannin *et al.* (2008) observaram, em cambissolo, que o teor de Na e, conseqüentemente, a PST, aumentaram linearmente com as aplicações de até 24 t ha<sup>-1</sup> de biossólido industrial, sendo que, com a aplicação da dose máxima, o teor de 0,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Na, obtido na camada de 0,4-0,6 m, foi 23 vezes superior ao do controle; todavia, a PST atingiu no máximo 2,6%.

**Tabela 3.** Teores de sódio e PST no solo.

Variável	Lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )	1º Cultivo		2º Cultivo		Limite <sup>1</sup>
		0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	0,19	0,14	0,16	0,14	
	10	0,19	0,13	0,18	0,12	
	20	0,18	0,13	0,16	0,12	-
	30	0,19	0,13	0,16	0,13	
	Média/IC	0,19 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,13 ± 0,01	
PST (%)	0	1,96	2,49	1,59	2,08	
	10	1,85	2,17	1,80	2,07	
	20	1,89	2,06	1,62	2,15	15
	30	1,90	2,04	1,63	2,05	
	Média/IC	1,90 ± 0,08	2,19 ± 0,22	1,66 ± 0,13	2,09 ± 0,29	

PST = percentagem de sódio trocável - classificação como “não sódico” quanto à percentagem de sódio trocável (Richards, 1954).

IC = intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: os autores.

Assim como observado no solo, o aumento das doses de lodo de esgoto não resultou em aumento nos teores foliares de metais pesados (Tabela 4). Estes resultados corroboram os de Merlino *et al.* (2010), que não observaram influência de onze aplicações anuais de lodo de esgoto, sobre os teores de Cd, Cr e Pb em folhas de milho em latossolo, e os de Nascimento (2012), que não verificaram influência de adubações com lodo de esgoto solarizado, compostado, vermicompostado e caleado sobre os teores de Cu, Cr, Cd, Ni, Pb e Zn na folha de girassol em cambissolo. Entretanto, o autor observou que, quando o lodo de esgoto solarizado foi aplicado em doses de até 29 t ha<sup>-1</sup>, houve aumento dos teores foliares de Zn, Cu e Mn e redução de Pb. Além disso, Barros *et al.* (2011) não constaram influência da aplicação de lodo de esgoto nas concentrações de Cu, Cr, Cd, Ni e Pb em folha de milho cultivado em latossolo, embora tenha havido aumento do teor de Zn.

**Tabela 4.** Teores médios de metais pesados e sódio na folha de girassol.

Elemento	Lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )	1º Cultivo	2º Cultivo	FT
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	0	15,47	4,23	10-100
	10	15,63	4,82	
	20	14,73	5,28	
	30	15,47	4,17	
	Média/IC	15,33 ± 1,08	4,63 ± 0,40	
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	0	23,53	3,93	30-300
	10	22,80	3,45	
	20	23,75	4,13	
	30	26,13	3,73	
	Média/IC	24,05 ± 2,32	3,81 ± 0,30	
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	0	1,84	0,52	5-30
	10	2,08	0,57	
	20	2,00	0,63	
	30	2,08	0,60	
	Média/IC	2,00 ± 0,24	0,58 ± 0,05	
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0	16,50	34,77	20-100
	10	17,00	29,83	
	20	20,17	31,17	
	30	17,50	40,50	
	Média/IC	17,79 ± 1,45	34,07 ± 6,61	
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	0	40,50	72,67	100-400
	10	46,33	63,67	
	20	45,00	73,50	
	30	45,17	72,50	
	Média/IC	44,25 ± 2,17	70,58 ± 5,98	
Na (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,01	0,01	-
	10	0,01	0,01	
	20	0,01	0,01	
	30	0,01	0,01	
	Média/IC	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,001	

FT = Faixa considerada tóxica para as plantas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986).

IC = intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: os autores.

A ordem decrescente de concentração de metais pesados na folha de girassol no primeiro cultivo foi: Zn > Pb > Cu > Ni > Cd > Cr, enquanto, no segundo cultivo, foi: Zn > Cu > Ni > Pb > Cd > Cr (Tabela 4). Ficou evidente que o Zn foi o elemento mais importante no processo de absorção, uma vez que se encontrava em maior concentração no lodo de esgoto e teve maior absorção pela planta. Além disso, o Ni no primeiro cultivo e o Cu no segundo cultivo atingiram níveis considerados tóxicos para esses elementos na planta, apesar de não ter se manifestado nenhum sintoma visível de fitotoxicidez.

Apesar de estar presente no solo (Tabela 2), o metal Cr não foi detectado na folha do girassol em nenhum dos plantios. Tal fato pode ser atribuído ao solo de textura argilosa, com pH da ordem de 7,0 e irrigado com água de origem calcária. De acordo com Bertoni e Mattiazzi (1999), em solos alcalinos ou pouco ácidos, o Cr na forma trivalente (Cr<sup>3+</sup>) precipita como hidróxido ou então complexa com moléculas orgânicas pouco solúveis, além de ser adsorvido à superfície dos minerais, tornando-se indisponível as plantas.

A aplicação de lodo de esgoto não influenciou os teores foliares de sódio em girassol (Tabela 4). Contudo, Trannin *et al.* (2005), ao estudarem a aplicação de até 24 t ha<sup>-1</sup> de biossólido industrial em Cambissolo cultivado com milho, observaram aumentos lineares dos teores foliares de Na, mas sem observar sintomas típicos de toxicidade de Na. Os autores afirmam que a ausência de fitotoxicidade de Na foi verificada mesmo no segundo cultivo, quando os teores deste elemento atingiram o máximo de 0,24 dag kg<sup>-1</sup>, próximo ao limite de 0,25 dag kg<sup>-1</sup> para plantas sensíveis. Azevedo Neto *et al.* (2020) afirmam que

alguns genótipos de girassol possuem um eficiente mecanismo de exclusão de sódio, o qual possibilita as plantas crescerem em ambientes salinos sem problemas de toxidez.

#### 4. Conclusão

A aplicação de até 30 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto da ETE Montes Claros – MG na adubação de girassol não influencia os teores de Ni, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu e Na no solo e no tecido foliar da planta.

#### Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

#### Referências

- Agoro, M. A., Adeniji, A. O., Adefisoye, M. A., & Okoh, O. O. (2020). Heavy Metals in Wastewater and Sewage Sludge from Selected Municipal Treatment Plants in Eastern Cape Province, South Africa. *Water*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/w12102746>
- Azevedo, A. D. de, Mota, K. N. A. B., Silva, P. C. C., Cova, A. M. W., Ribas, R. F., & Gheyi, H. R. (2020). Selection of sunflower genotypes for salt stress and mechanisms of salt tolerance in contrasting genotypes. *Ciência e Agrotecnologia*, 44. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044020120>
- Barros, I. T., Andreoli, C. V., Souza Junior, I. G. de, & Costa, A. (2011). Avaliação agrônômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(6), 630–638. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600014>
- Bertoncini, E., & Mattiazzo, M. (1999). Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23(3), 737–744. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300029>
- Biondi, C. M., & Nascimento, C. W. A. D. (2005). Acúmulo de nitrogênio e produção de matéria seca de plantas em solos tratados com lodo de esgoto. *Revista Caatinga*, 18(2), 123–128.
- BRASIL. (2020). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n. 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>
- CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. (1999). *Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG, 359 p.
- Costa, C. das N., Meurer, E. J., Bissani, C. A., & Tedesco, M. J. (2007). Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos. *Ciência Rural*, 37(5), 1323–1328. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000500016>
- Dhanker, R., Chaudhary, S., Goyal, S., & Garg, V. K. (2021). Influence of urban sewage sludge amendment on agricultural soil parameters. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101642. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101642>
- Eid, E. M., Shaltout, K. H., Alamri, S. A. M., Alrumman, S. A., Hussain, A. A., Sewelam, N., El-Bebany, A. F., Alfarhan, A. H., Picó, Y., & Barcelo, D. (2021). Prediction models based on soil properties for evaluating the uptake of eight heavy metals by tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in agricultural soils amended with sewage sludge. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105977. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105977>
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2017). *Manual de métodos de análises de solos*. (3ª.ed.): Embrapa Solos. 574 p.
- Garcia, G. de O., Zution-Gonçalves, I., Madalão, J. C., Nazário, A. A., & Bragança, H. N. (2009). Características químicas de um solo degradado após aplicação de lodo de esgoto doméstico. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 4(2), 4.
- International Standard Organisation. (1995). *Soil quality: Extraction of trace elements soluble in aqua regia*. ISO 11466:1995(E). Genève, Suisse.
- Lin, X., Li, S., Wei, Z., Chen, Y., Hei, L., & Wu, Q.-T. (2021). Indirect application of sludge for recycling in agriculture to minimize heavy metal contamination of soil. *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 105358. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105358>
- Maia, F. C. V., Lima, S. O., Benício, L. P. F., de Freitas, G. A., & Furlan, J. C. (2018). Qualidade física do solo após aplicação de lodo de esgoto. *Nativa*, 6(4), 345–351. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i4.5088>
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. de. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações* (2º ed). POTAFOS.
- Marchiori J. M. (2002). *Impacto ambiental da citricultura nos teores de metais pesados em solos do Estado de São Paulo*. Tese de doutorado (Agronomia), FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP. 83 f.



- Merlino, L. C. S., Melo, W. J. de, Macedo, F. G. de, Guedes, A. C. T. P., Ribeiro, M. H., Melo, V. P. de, & Melo, G. M. P. de. (2010). Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 2031–2039. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600027>
- Nascimento, A., Arruda Sampaio, R., Cruz, S., Junio, G., Barbosa, C., & Fernandes, L. (2014). Metais pesados em girassol adubado com lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 694–699. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700004>
- Nascimento, C. do, Barros, D., Melo, E. de, & Oliveira, A. de. (2004). Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(2), 385–392. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200017>
- Paes, J. L. de A., Ruiz, H. A., Fernandes, R. B. A., Freire, M. B. G. dos S., Barros, M. de F. C., & Rocha, G. C. (2014). Hydraulic conductivity in response to exchangeable sodium percentage and solution salt concentration. *Revista Ceres*, 61(5), 715–722. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461050015>
- Paes, J. L. de A., Ruiz, H. A., Fernandes, R., Freire, M. B. dos S., Barros, M. de F., & Rocha, G. C. (2013). Dispersão de argilas em solos afetados por sais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(11), 1135–1142. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100002>
- Putti, F. F., Lanza, M. H., Cremasco, C. P., Souza, A. V., & Gabriel, L. R. (2021). Fuzzy modeling in orange production under different doses of sewage sludge and wastewater. *Engenharia Agrícola*, 41(2), 204–214. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n2p204-214/2021>
- R CORE TEAM. R (2021). Foundation for Statistical Computing. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria, 2021. <https://www.r-project.org/>
- Richards, L. (1954). *Diagnosis and improvement of saline alkali soils*. US Department of Agriculture. 60.
- Sant’Ana, G. R. S., Sant’Ana, C. E. R. de S., & Mendes, H. F. A. (2018). Parâmetros químicos de latossolo vermelho distrófico e de lodo de esgoto doméstico. *Tecnia*, 3(2). <http://revistas.ifg.edu.br/tecnia/article/view/275>
- Santos, M. dos, Lima, V., Haandel, A., Beltrão, N., & Souza, A. (2006). Salinidade de um solo, irrigado com água residuária e adubado com biossólido. *Revista Agropecuária Técnica, Areia*, 27(1), 30–36.
- Silva, C. A., Passos Rangel, O. J., Dynia, J. F., Bettioli, W., & Manzatto, C. V. (2006). Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(2), 353–364. Redalyc. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200015>
- Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). *Análises de solo, plantas e outros materiais* (2º ed). Departamento de Solos/UFRGS.
- Trannin, I. C. de B., Siqueira, J. O., & Moreira, F. (2008). Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 223–230. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000300001>
- Trannin, I. C. de B., Siqueira, J. O., & Moreira, F. M. de S. (2005). Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(3), 261–269. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000300010>
- Tyła, M., Widziewicz, K., & Zielewicz, E. (2016). Heavy metals and its chemical speciation in sewage sludge at different stages of processing. *Environmental Technology*, 37(7), 899–908. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1090482>
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. (1993). *Title 40 CFR-Part 503: Final rules: Standards for the use or disposal of sewage sludge*, 58. Federal Register.
- Zoghalmi, R. I., Hamdi, H., Mokni-Tlili, S., Hechmi, S., Khelil, M. N., Ben Aissa, N., Moussa, M., Bousnina, H., Benzarti, S., & Jedidi, N. (2020). Monitoring the variation of soil quality with sewage sludge application rates in absence of rhizosphere effect. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(3), 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.07.007>