

Article

Elemento Cromo como Indicador de Qualidade de Solo em uma Planta de Compostagem Industrial Fertirrigada com Água Residuária da Suinocultura

Sergio Luiz Santana de Almeida¹ , Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques² , Ramiro Machado Rezende³ 

¹ Mestre em Sustentabilidade em Recursos Hídricos pela Universidade Vale do Rio Verde. ORCID: 0009-0000-6906-0843. E-mail: sergiosantanamg@gmail.com.

² Doutora em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas pela Universidade Federal de Lavras. Professora da Universidade Vale do Rio Verde. . ORCID: 0000-0001-6646-0809. E-mail: roeflorestal@hotmail.com

³ Doutor em Agronomia/Fitotecnia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Professor da Universidade Vale do Rio Verde. ORCID: 0000-0003-4019-5837. E-mail: coord.agronomia@unincor.edu.br

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the presence of the chromium element in the soil located in an industrial composting area. The presence of this element was evaluated at different depths, where throughout the process the compost windrows were fertigated with wastewater from pig farming, collected in lagoons after the biodigestion treatment process (biodigestor). Based on the results, it was found that the chromium element is distributed throughout the soil profile, both in the composting area and in the area adjacent to the composting. The chromium values found in the composting area did not exceed the Prevention and Soil Quality Reference values, as established in CONAMA Resolution No. 420 of 2009 and in COPAM Normative Deliberation No. 166 of 2011.

Keywords: trace elements; soil quality; wastewater.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a presença do elemento cromo no solo localizado em uma área de compostagem industrial. A presença deste elemento foi avaliada nas diferentes profundidades, onde durante todo o processo as leiras de compostagem foram fertirrigadas com água residuária da suinocultura, coletada em lagoas após o processo de tratamento por biodigestão (biodigestor). Com base nos resultados, verificou-se que o elemento cromo está distribuído em todo o perfil do solo, tanto na área de compostagem quanto na área adjacente à compostagem. Os valores do cromo encontrados na área de compostagem não ultrapassaram os valores de Prevenção e de Referência da Qualidade do solo, conforme estabelecido na Resolução CONAMA n.º 420 de 2009 e na Deliberação Normativa do COPAM n.º 166 de 2011.

Palavras-chave: elementos-traço; qualidade do solo; água residuária.



Submissão: 25/05/2023



Aceite: 05/10/2023



Publicação: 27/10/2023



1. Introdução

No início da civilização, o homem exercia pequena influência sobre o ambiente, mas ao dominar as técnicas agrícolas e industriais, proporcionando-lhe melhor qualidade de vida ao mesmo tempo em que aumentou sua dependência tecnológica, gerando diversos impactos ambientais. Os impactos da contaminação podem ser imediatos devido à liberação de grande quantidade de contaminantes no ambiente, com uma recuperação lenta e gradual, ou acumulativa, resultante da acumulação de contaminantes depositados durante anos ou décadas (VIANA, 2011).

A poluição do solo é uma das grandes preocupações ambientais, uma vez que, geralmente, interfere no ambiente global da área afetada (solo, águas superficiais e subterrâneas, ar, fauna e vegetação), podendo originar problemas de saúde pública (SANTOS, 2005). Oliveira *et al.* (2013) relatam que um dos grandes problemas da atualidade é a disposição realizada de forma inadequada dos resíduos sólidos urbanos e os seus efeitos recaem, principalmente, na contaminação das águas e do solo. Mas a qualidade da vida humana depende da composição química dos alimentos e do ambiente.

O solo é um componente específico da biosfera, pois, não é apenas um dissipador geoquímico de contaminantes, mas também age como um amortecedor natural e controla o transporte de elementos químicos e substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota. No entanto, a função mais importante do solo é ser um aliado da produtividade agrícola, que é fundamental para a sobrevivência dos seres humanos. Assim, a manutenção das funções ecológicas e agrícolas dos solos é responsabilidade da humanidade (KABATA-PENDIAS, 2010 *apud* VIANA, 2011).

As principais rotas antrópicas de entrada de elementos traço no solo se dão pela deposição de resíduos industriais e resíduos urbanos (lodo de esgoto e composto de lixo), e pelo uso de fertilizantes e pesticidas. O acúmulo de elementos traço em solos agrícolas, decorrente das aplicações sucessivas de lodo de esgoto, é o fator que causa maior preocupação em relação à segurança ambiental necessária para a viabilização desta prática (OLIVEIRA; MATIAZZO, 2001).

Os resíduos orgânicos em ambientes naturais equilibrados se degradam espontaneamente e reciclam nutrientes na natureza, porém, quando derivados de atividades humanas, especialmente em ambientes urbanos, podem se constituir um sério problema ambiental, pelo grande volume gerado e pelos locais inadequados em que são armazenados ou dispostos. Quando os resíduos são separados na fonte, a reciclagem dos resíduos orgânicos e sua transformação em fertilizante orgânico pode ser feita em escalas e modelos com grandes tecnologias.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n.º 12.305/2010, prevê no art. 36, inciso V, a necessidade de implantação pelos titulares dos serviços, “de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articulação com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido” (BRASIL, 2010).

Corrêa *et al.* (2012) afirmam que existe um método eficiente para gerenciar os resíduos sólidos na indústria de alimentos para uma produção mais limpa, a qual se dá através do processo de reciclagem de matéria orgânica, a compostagem. O processo de compostagem apresenta-se como uma alternativa sustentável no tratamento e na valorização da fração orgânica dos resíduos agroindustriais, dando ao material utilizado um valor agregado e estabilidade, uma vez que minimiza os impactos causados pelos resíduos, bom como, proporciona o aproveitamento dos elementos químicos nutricionais neles existentes (CORRÊA; MENDES; CORRÊA, 2012).

Dados do Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada – IPEA (2012) descrevem que são gerados diariamente no Brasil 183.481,50 toneladas/dia de resíduos sólidos urbanos e cerca de 52% (94.309,50 t d⁻¹) dessa parcela são resíduos orgânicos, e, somente 1,6% (1.519,5 t d⁻¹) desse percentual é destinado para



compostagem, esses resíduos sendo dispostos de forma inadequada, pode comprometer a qualidade dos mananciais de água superficiais e subterrâneas.

Bosco (2008) afirmou que o solo contaminado é a principal causa de deterioração das águas subterrâneas, derivada da aplicação de fertilizantes, pesticidas, lodo de estação de tratamento de efluentes, esterco, ou indiretamente por aerossóis de automóveis e indústrias, pela combustão de carvão, por disposição de resíduos e por incineração de lixo.

Destarte, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial poluidor de água residuária da suinocultura e dos resíduos orgânicos provenientes da agroindústria e da indústria de uma usina de compostagem por meio da análise da distribuição do cromo ao longo do perfil do solo onde situam-se as composteiras.

Metodologia

Área de Estudo

A área objeto de estudo está situada na cidade de Machado, sul do estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 21° 38' 29,7" S e 46° 01' 38,34" O e altitude de 942 m. O solo do local foi classificado como um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico pela classificação da Embrapa (2013).

A atividade do empreendimento consiste no tratamento de resíduos orgânicos Classe II A – não inerte conforme ABNT-NBR 10004/2004, provenientes de diversas empresas geradoras de resíduos orgânicos industriais e agroindustriais. A empresa recebe em média 300 toneladas de resíduos orgânicos diariamente em uma área de compostagem de aproximadamente 120 mil m². As áreas são separadas por platôs, dos quais dois foram confeccionados no ano de 2010, quatro em 2013 e dois em 2018, sendo um de recebimento e sete de fermentação e maturação. As leiras formadas após o balanço de massa são revolvidas com o compostador da marca Menart, modelo 5.0, revolvendo as leiras com 5,0 m de largura e 1,9 m de altura. Após o período de 90 a 120 dias o resíduo é transformado em composto orgânico classe A, onde é seco, peneirado e misturado ao fertilizante mineral para a fabricação de organomineral.

Histórico das Áreas

Neste estudo foram utilizados seis platôs de compostagem, i) platô 3, ii) platô 4, iii) platô 5, iv) platô 6, v) platô 7 e vi) platô 9. Os platôs 3,4,5 e 6 eram, previamente, uma área de pastagem da propriedade agrícola. Para início dos trabalhos com a compostagem foi realizado um procedimento de terraplanagem com corte e aterro. Sobre os platôs:

- i) platô 3: foi implantado 2013, contando com uma área de 0,5633 ha;
- ii) platô 4: foi implantado 2013, contando com uma área de 1,7156 ha;
- iii) platô 5: foi implantado 2013, contando com uma área de 0,4272 ha;
- iv) platô 6: foi implantado 2013, contando com uma área de 0,6222 ha;
- v) platô 7: foi implantado 2010, contando com uma área de 0,4327 ha;
- vi) platô 9: foi implantado 2018, contando com uma área de 1,8 ha, esta área previamente era uma área destinada para cultivo de café arábica, em sequeiro, com manejo convencional.

Tratamento dos Dados

Foi realizado o estudo da distribuição do cromo ao longo do perfil do solo por meio de análise descritiva, cobrindo uma faixa de 0 a 100 cm, contemplando as camadas 0 – 10, 10-20, 20-40, 60-80, 80-100 cm. Em cada



área de estudo foi realizada uma amostragem nos parâmetros exigidos pela legislação nos anos de 2018, 2019 e 2020.

Processo de Compostagem da Área de Estudo

Os processos de compostagem na área de estudo foram realizados conforme critérios técnicos como: avaliação dos resíduos conforme ABNT NBR 10004/2004, recebendo somente resíduos classificados como Classe II A – não inerte. Após essa avaliação, foi analisada a amostra física do resíduo, como consistência, presença de água livre, umidade, presença de materiais inertes, logo em seguida foi realizada a avaliação agrônômica quanto aos conteúdos de nitrogênio e carbono orgânico, para calcular o balanço de massa necessário para iniciar o processo de compostagem com uma relação C/N de 30/1.

Caracterização dos Resíduos Orgânicos

Os resíduos usados no processo de compostagem possuem peculiaridades das mais diversas, conforme a matéria-prima que deu origem ao resíduo. Todos foram classificados com classe II A – não inerte conforme ABNT NBR 10004/2004, sua umidade foi avaliada mantendo um padrão de no máximo 60% para então ser compostado. Foi também avaliado suas propriedades físicas para que no processo de montagem das leiras houvesse a formação de espaços vazios para melhor oxigenação. Os resíduos foram analisados pelo Laboratório LABFERT, unidade de Uberaba-MG, avaliando suas características químicas principalmente o elemento cromo, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização dos resíduos quanto as concentrações do elemento cromo.

Resíduo	Relatório de Ensaio	Resultado para o Cromo	
		(mg kg ⁻¹)	Método
A	20029364-92	N/D	U.S EPA 3050-B
B	20029364-93	3,43	U.S EPA 3050-B
C	20029364-94	N/D	U.S EPA 3050-B
D	20029364-95	98,87	U.S EPA 3050-B
E	20029364-96	12,55	U.S EPA 3050-B
F	20029364-97	52,40	U.S EPA 3050-B
G	20029364-98	44,68	U.S EPA 3050-B
H	20029364-99	13,65	U.S EPA 3050-B
I	20029364-00	N/D	U.S EPA 3050-B
J	20029364-02	4,41	U.S EPA 3050-B
K	20048006-21	0,23	U.S EPA 3050-B
L	20048006-24	0,22	U.S EPA 3050-B
M	20048006-25	0,33	U.S EPA 3050-B

Legenda: N/D = Não Detectável

Fonte: Laboratório LABFERT Análises (2022).

Caracterização Química do Solo

Para as análises de elementos-traço, as amostras de solo foram coletadas em seis platôs, retiradas com o trado, nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm, 60 a 80 cm e 80 a 100 cm, foram coletadas em 4 pontos do platô, sendo um ponto central e 3 pontos no entorno do ponto central, no raio de



10 m, tendo um ângulo de 120° de um ponto ao outro, conforme Deliberação Normativa do COPAM n.º 164/2011 em três coletas, sendo uma no mês de novembro de 2018, outra em setembro de 2019 e outra no mês de abril de 2020.

As amostras simples coletadas foram destorroadas e formadas amostras compostas que foram encaminhadas para o laboratório em sacos plástico, contendo 300 g de terra, devidamente identificadas, para analisar os elementos-traço, pelo método de espectrofotometria de absorção atômica. Para caracterizar o solo do local foi realizada a coleta e análise do solo pelo Laboratório IBRA, avaliando suas características químicas (Tabela 2).

Tabela 2 - Características químicas do solo do local do experimento.

Determinações		Unidade	Valor	Metodologia
pH	CaCl ₂	g dm ⁻³	4,80	IAC
Carbono Orgânico	Cálculo	g dm ⁻³	14,00	IAC
Matéria Orgânica	Oxidação	g dm ⁻³	24,00	IAC
Ca trocável	Resina	mmolc dm ⁻³	20,00	IAC
Mg trocável	Resina	mmolc dm ⁻³	3,00	IAC
Acidez trocável	KCl	mmolc dm ⁻³	0,00	IAC
Soma das Bases	Cálculo	mmolc dm ⁻³	25,10	IAC
Acidez Potencial	Cálculo	mmolc dm ⁻³	38,00	IAC
CTC efetiva	Cálculo	mmolc dm ⁻³	25,10	IAC
CTC pH 7	Cálculo	mmolc dm ⁻³	63,10	IAC
Saturação por Al ⁺³	Cálculo	%	0,00	IAC
Saturação por bases	Cálculo	%	40,00	IAC

Fonte: Laboratório IBRA (2022).

Resultados e Discussão

Caracterização do Composto Orgânico Após a Finalização do Processo

Após o período de 90 dias e avaliação das características físicas do composto, uma vez bioestabilizado e humificado, foi realizada a coleta de amostra e enviada ao laboratório avaliando os parâmetros conforme determinação do MAPA na sua IN SDA n.º 27 de 05 de junho de 2006, alterada pela IN SDA n.º 07, de 12 de abril de 2016, onde são avaliados os parâmetros agrônômicos como garantia, contaminantes, análise microbiológica e de materiais inertes. Na Tabela 3 são apresentadas as concentrações do elemento cromo no produto final após o processo de compostagem, realizadas no Laboratório LABFERT Análises (Relatórios de Ensaio n.º 12-19, 20039984-83, 20043875-26, 20043875-27 e 20043875-28).

Como visto na Tabela 3, os valores do elemento Cromo no composto orgânico produzido, encontram-se bem abaixo do que é estabelecido pelo MAPA para o fertilizante organomineral, que tem como base na sua mistura o composto orgânico, esses valores não contribuíram para um aumento do teor do Cr na mistura final, atendendo à legislação e não comprometendo a qualidade ambiental do solo onde será usado o fertilizante.


Tabela 3 - Valores do elemento Cromo no composto orgânico.

Lotes	Laboratório	Método	Conteúdo de Crmg kg ⁻¹
21519			0,42
27119			0,36
15320			0,38
13320/12220/19620	Labfert	U.S.EPA:3050-B	0,67
53220			0,22
08621			0,18
07221			0,34

Fonte: Laboratório LABFERT Análises (2022).

Caracterização da Água Residuária da Suinocultura Usada na Fertirrigação das Leiras

A água residuária da suinocultura passou por processos de tratamento, inicialmente o processo é denominado de equalização, que ocorre em um tanque circular de 50 m³, depois essa água residuária foi bombeada para uma peneira estática autolimpante, onde foram separados os resíduos sólidos que vão para o processo de compostagem, sendo a água residuária canalizada para um biodigestor com capacidade de armazenamento de 5.000 m³ e tempo de retenção hidráulica de 31,25 dias, após o tratamento preliminar e primário, as águas residuárias foram conduzidas para três lagoas com capacidade de 400 m³ cada com tempo retenção hidráulica de 2,5 dias nas lagoas 01 e 02, pois a lagoa 03 foi usada para fertirrigação das leiras. A Tabela 4 mostra a concentração do elemento cromo na água residuária da suinocultura após tratamento.

Tabela 4 - Concentração do elemento cromo na água residuária usada na fertirrigação das leiras.

Parâmetros	Resultados	Unidade	L.Q.	VR	Método
As	<0,05	mg Kg ⁻¹	0,05	máx. 20,00	U.S.EPA:7061-A
Cd	<0,10	mg Kg ⁻¹	0,10	máx. 3,00	U.S.EPA:3050-B
Cr	<u>0,15</u>	<u>mg Kg⁻¹</u>	<u>0,10</u>	<u>máx. 500,00</u>	<u>U.S.EPA:3050-B</u>
Hg	N/D	mg Kg ⁻¹	0,05	máx. 1,00	U.S.EPA:7471-A
Ni	N/D	mg Kg ⁻¹	0,010	máx. 70,00	U.S.EPA:3050-B
Pb	0,10	mg Kg ⁻¹	0,10	máx. 150,00	U.S.EPA:3050-B
Se	N/D	mg Kg ⁻¹	0,05	máx. 80,00	U.S.EPA:7741-A

Fonte: Laboratório LABFERT Análises (2022).

Legenda: L.Q = Limite de Quantificação - VR= Valor de Referência

Como visto, os valores do elemento Cromo encontram-se com seus valores muito baixos, mostrando que sua aplicação na fertirrigação durante todo o processo, não comprometeu a qualidade do solo nas profundidades analisadas.

Caracterização Climática

Os dados pluviométricos foram coletados através de pluviômetros instalados no local, com leitura das 9:00h da manhã, onde foram tabuladas para avaliar a quantidade de chuva em mm que o solo recebeu durante o experimento conforme Figura 1, esses dados foram coletados a partir de outubro de 2018 até dezembro de 2020, esses dados foram coletados para avaliar se teve interferência do índice pluviométrico no deslocamento do metal cromo nas diferentes profundidades do solo.

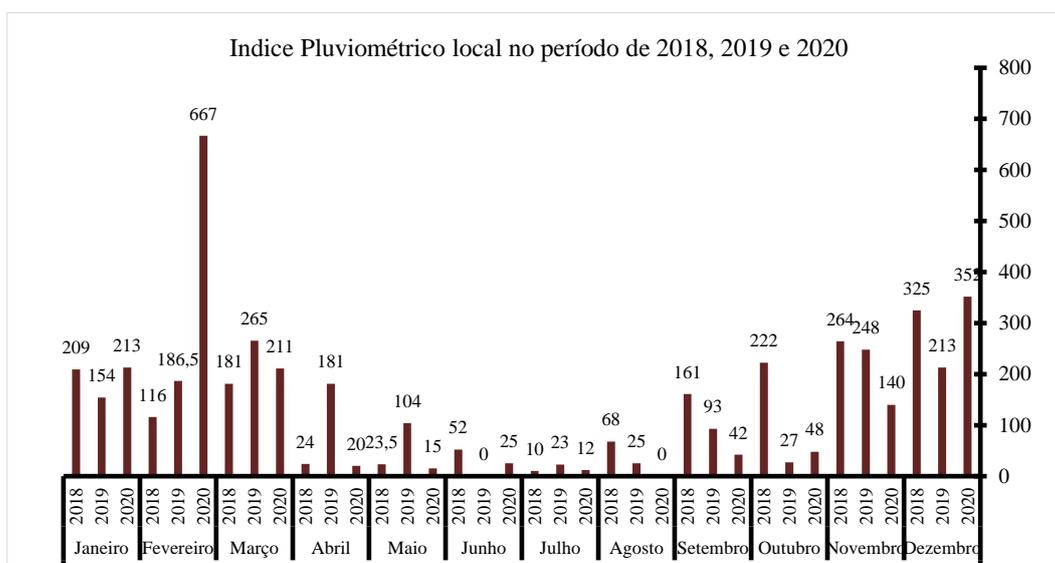


Figura 1 - Precipitação no período de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

A precipitação no período estudado se comparado as épocas de coletas das análises, mostra que no ano de 2018, a partir do mês de agosto até a retirada das análises choveu 715,5 mm, em 2019 de agosto a setembro, ocasião da retirada das análises choveu 118 mm e em 2020 como houve muita chuva e a coleta do solo foi realizada em abril, mostra que de dezembro de 2019 a março de 2020, onde logo foram coletadas as amostras de solo, choveu neste período o correspondente a 1.443 mm.

Nos 3 anos de coleta de informações, os índices pluviométricos mostram que nos anos de 2018 e 2020, foram superiores ao ano de 2019, porém o comportamento do elemento cromo no perfil do solo nos três anos estudados, conforme Tabela 5, somente alterou na camada de 40 a 60 cm no ano de 2020, platô 7, as concentrações do elemento cromo nas demais camadas não se diferenciaram independente dos índices pluviométricos. As leiras foram mantidas com umidade na faixa de 40 a 55% de umidade, deixando o solo sempre úmido em suas diferentes camadas, talvez por este motivo o cromo esteja distribuído de forma semelhante nas camadas estudadas.

Caracterização do Elemento Cromo em Diferentes Profundidades

Ao avaliar as características químicas do solo da área de compostagem, conforme Tabela 2, os elementos analisados como o pH e a matéria orgânica, cujos valores expressam grande contribuição para haver uma menor mobilidade do elemento Cromo no perfil do solo usado para o processo de compostagem.

A Tabela 5 mostra a distribuição do elemento cromo no perfil do solo nas profundidades de 0 a 100 cm, onde são observadas variações de acordo com o platô e as profundidades, mostrando que o manejo no processo de fertilização das leiras, associado ao índice pluviométrico, contribuiu para a distribuição do elemento cromo em toda a extensão da profundidade do solo estudado.

No ano de 2020, na profundidade de 40 a 60 cm, platô 7, é possível verificar que o teor de cromo é superior a todas as profundidades e aos anos estudados, porém não comprometendo a qualidade ambiental do solo, conforme sua finalidade destacada nas legislações federal e estadual que determinam os valores de referência da qualidade e valores de investigação. Esse aumento, provavelmente, é decorrente dos maiores índices pluviométricos na região, o que pode ter influenciado esta concentração nesta profundidade.



Comparando os solos dos platôs e o solo de referência com o cultivo de café em uma área adjacente, a área de referência possui concentração do elemento cromo maior do que as demais áreas estudadas, inclusive o comportamento do elemento cromo nas suas diferentes profundidades, mostrando que os produtos utilizados no manejo da cultura do café desde fertilizantes minerais aos defensivos, são possuidores de elementos que possam contribuir para os resultados obtidos na área de referência estudada.

Tabela 5 - Caracterização do elemento cromo em diferentes profundidades do solo

Platô	Ano	Valores do elemento Cromo (mg kg ⁻¹ Cr) nas diferentes profundidades (cm)						Média mg kg ⁻¹
		0 a 10	10 a 20	20 a 40	40 a 60	60 a 80	80 a 100	
03	2018	23,74	23,06	21,72	22,52	23,93	28,41	23,90
	2019	34,21	35,19	35,18	34,08	33,57	33,25	34,25
	2020	31,30	24,78	27,95	25,24	19,05	35,16	27,25
04	2018	21,83	25,82	23,29	25,50	20,84	26,28	23,93
	2019	26,65	27,07	29,46	26,26	25,33	29,67	27,41
	2020	26,25	30,23	26,14	26,41	28,68	31,27	28,16
05	2018	12,02	12,01	15,98	15,92	12,68	12,65	13,54
	2019	60,83	63,53	49,64	50,84	39,22	36,19	50,04
	2020	39,14	34,50	30,08	53,94	33,00	30,25	36,82
06	2018	29,20	27,71	27,50	20,74	38,68	39,22	30,51
	2019	70,06	62,46	43,58	55,00	44,20	37,45	52,13
	2020	39,85	33,85	39,28	45,56	38,49	41,72	39,79
07	2018	68,83	59,46	57,29	42,56	50,18	51,27	54,93
	2019	34,05	37,94	43,44	41,59	45,52	45,81	41,39
	2020	39,85	36,91	53,56	76,45	52,22	48,43	51,24
09	2018	58,21	52,35	64,71	65,85	60,95	58,32	30,07
	2019	48,99	51,21	53,13	59,76	51,70	56,00	53,47
	2020	48,28	56,67	54,80	55,11	52,53	49,62	52,84
Café	2020	73,01	36,39	94,30	104,13	72,15	80,02	76,67

Fonte: Laboratório IBRA (2022).

Segundo Oliveira (2000), no Brasil, os estudos têm demonstrado que os elementos-traço Cr, Cu, Ni e Pb presentes no bio sólido apresentam baixa mobilidade, acumulando-se na camada do solo onde o bio sólido foi incorporado. No entanto, o Zn e principalmente o Cd são relativamente móveis e, portanto, apresentam maior potencial para contaminar o subsolo bem como as águas subterrâneas.

Anjos e Mattiazzi (2000) estudaram a lixiviação de nitratos e dos elementos K, Ca, Mg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn em Latossolo Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico em vasos repetidamente tratados com bio sólido em dose cumulativa equivalente a 388 mg ha⁻¹. A quantidade de nitrato lixiviada atingiu valores de até 96 mg L⁻¹ e não foi observada lixiviação de elementos-traço.

Para Campos (2017), a maior parte do conteúdo de elementos-traço adicionados ao solo através da aplicação do bio sólido não foi lixiviada, independentemente do tipo de solo (Planossolo arenoso ou Latossolo argiloso), provavelmente em razão do alto conteúdo de matéria orgânica do bio sólido.

Em seus estudos, Campos (2017) conclui que o Planossolo lixiviou maiores quantidades, em mg/coluna, de prata, arsênio, bário, cobalto, cromo, cobre, manganês, selênio, fosfato e cálcio em relação ao Latossolo. Contudo, o Latossolo lixiviou mais boro, cádmio, ferro, níquel, chumbo, zinco, nitrato, alumínio, antimônio, magnésio, sódio, sulfato e potássio do que o Planossolo.



Para Nascentes (2006), O Cr^{3+} , foi o elemento-traço encontrado em quantidade maiores, em relação ao que foi adicionado e foi o segundo elemento-traço menos móvel, segundo a autora, embora este elemento-traço tenha maior valência que o Pb, atribui a baixíssima mobilidade deste metal a sua grande afinidade por óxidos de ferro presentes no solo. Ainda com base nos resultados da extração sequencial, e nas curvas de eluição, ela conclui que a sequência de mobilidade dos elementos traços foi: $\text{Mn}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Pb}^{2+}$.

Segundo Oliveira e Mattiazzo (2001), em seu trabalho com cana-de-açúcar, e aplicação de lodo de esgoto, foi verificado que no ano agrícola 1996/1997 não houve indícios de movimentação do Cr abaixo da camada de incorporação do lodo, porém, no ano seguinte, observou que houve um efeito linear das doses do resíduo sobre seus teores no solo até a camada de 0,2 a 0,4 m. Os autores salientam que é importante notar o aumento nos teores naturais do solo em função da profundidade.

Conclusão

Os valores do elemento cromo encontrados nas profundidades de 0 a 100 cm não ultrapassaram os valores que pudessem comprometer a qualidade do solo, conforme estabelecido na Resolução CONAMA n.º 420 de 2009 e na Deliberação Normativa do COPAM n.º 166 de 2011.

Na área adjacente a compostagem, onde há o cultivo de café, os valores do elemento cromo nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 60-80 cm não são diferentes dos valores encontrados nos platôs de compostagem, especificamente no platô 7, no ano de 2020, na profundidade de 40 a 60 cm, mantendo seus valores abaixo ou próximos dos valores de prevenção e qualidade do solo, exceto nas profundidades de 20-40 cm, 40-60 cm e 80-100 cm, onde seus valores ultrapassaram esses limites.

Diante desses valores, as duas áreas estudadas, tanto na área de compostagem quanto na área de cultivo de café, possuem peculiaridades semelhantes quanto à presença do elemento Cr, mostrando que tanto os resíduos orgânicos utilizados no processo de compostagem bem como a água residuária da suinocultura não interferiram nos valores que pudessem comprometer a qualidade do solo na área de compostagem.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos Sólidos-Classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.vigilanciasanitaria.sc.gov.br/index.php/download/category/64-legislacao?=433:nbr-10004>. Acesso em: 05 mai.2021.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Leaching of inorganic ions in soils continuously amended with biosolids. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 4, p. 927-938, 2000.

BOSCOV, M. E. G. *Geotecnia Ambiental*. 1ª ed., Brasília, Oficina de Textos, 2008.

BRASIL. Casa Civil. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos: altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 05 mai.2021.



CAMPOS, T. O. Lixiviado de metais pesados e macronutrientes em solos condicionados com biossólido de lodo de esgoto. Dissertação (Mestrado na área de concentração de Silvicultura e Manejo Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Seropédica/RJ. 2017.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2022.

COPAM. Conselho de Política Ambiental. Deliberação Normativa n.º 166 de 29 de junho de 2011. Estabelece valores de referência da qualidade do solo para o Estado de Minas Gerais. Minas Gerais: COPAM, 2011. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414#:~:text=Delibera%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20COPAM%20n%C2%BA%20166%2C%20de%2029%20de%20junho%20de%202011.&text=Considerando%20a%20necessidade%20de%20se,Considerando%20o%20disposto%20no%20art>. Acesso em: 27 fev. 2023.

COPAM. Conselho de Política Ambiental. Deliberação Normativa n.º 164 de 30 de março de 2011. Estabelece normas complementares para usinas de açúcar e destilarias de álcool referentes ao armazenamento e aplicação de vinhaça e águas residuárias no solo agrícola. Minas Gerais: COPAM, 2011. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=16794>. Acesso em: 05 mai.2022.

CORRÊA, E. K.; MENDES, P. M.; CORRÊA, L. B. Destinação da cama aviária. In: DAI PRÁ, M. A.; ROLL, V. F. B. (Org.). Cama de aviário: utilização, reutilização e destino. I. Porto Alegre: Manas, 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 3ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Relatório de pesquisa. Brasília: 2012. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf. Acesso em: 05 mai. 2021.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa n.º 27, de 05 de junho de 2006, alterada pela IN SDA n.º 07, de 12 de abril de 2016. Diário Oficial da União, Brasília, republicada em 02 de maio de 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.

NASCENTES, R. Estudo da mobilidade de metais pesados em um solo residual compactado. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa/MG. 2006.

OLIVEIRA, F. C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Tese (Doutorado na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas) -



Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Piracicaba/SP. 2000.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Scientia Agrícola*, v.58, n.4, p.807-812, 2001.

OLIVEIRA, L. F. C. de; NOGUEIRA, J. G.; FRIZZARIM, S. S.; FIA, R.; FREITAS, J. S.; FIA, F. R. L. Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 2, p.139-148, 2013.

SANTOS, G. C. G. dos. Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico. 2005. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Piracicaba/SP. 2005.

VIANA, E. M. Fitoextração em solo contaminado com metais pesados. Tese (Doutorado na área de concentração em solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Piracicaba/SP. 2011.