

CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS APÓS A DEPOSIÇÃO DE PILHAS
ALCALINAS INVESTIGADA PELA CROMATOGRAFIA DE PFEIFFER

Heavy metal contamination of soil after deposition of alkaline batteries investigated by Pfeiffer chromatography.

Juslâne Da Silva Miranda¹, Maria Aparecida Do Nascimento Dos Santos²

Resumo: A pesquisa teve como objetivo avaliar a contaminação do solo após a deposição de pilhas alcalinas em superfície, analisando a viabilidade da cromatografia de Pfeiffer como indicador de qualidade do solo. O trabalho foi realizado na UEMS - campus de Dourados. Amostras de um Latossolo Vermelho foram coletadas em área sob pastagem, nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60 cm, sendo alocadas em tubos de PVC. Os tratamentos caracterizados como solo sem descarte de pilhas (SSP) e solo com descarte de pilhas (SCP), foram analisados aos 3 (três) e 6 (seis) meses após a instalação do experimento. Foram realizadas análises cromatográficas e análise do teor de metais pesados por espectrometria de absorção atômica. Os cromatogramas foram interpretados e avaliados quanto a cor, terminações, radiações, integração entre zonas (central, interna, intermediária e externa), e atividade biológica. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. A cromatografia de Pfeiffer mostrou pequena diferença entre os tratamentos, mostrando melhor qualidade no SSP, que apresentou maior integração entre zonas, especialmente na superfície do solo. Houve aumento significativo no teor de Ni aos três meses no SCP, em 0-20 cm. Aos seis meses observou-se aumento no teor de Cr no SCP em 40-60 cm. Entretanto, os teores dos metais pesados permaneceram abaixo dos valores orientadores estabelecidos pela resolução CONAMA nº 420. A cromatografia de Pfeiffer mostrou-se uma técnica eficiente para o monitoramento da qualidade do solo, podendo ser utilizada como ferramenta diagnóstica e complementar às análises químicas.

Abstract: The research aimed to evaluate soil contamination after surface deposition of alkaline batteries, analyzing the feasibility of Pfeiffer chromatography as an indicator of soil quality. The research was carried out at the UEMS - Dourados campus. Samples of a Oxisol were collected in an area under pasture, at depths 0-20, 20-40, and 40-60 cm, and were placed in PVC tubes. The treatments were characterized as soil without disposal of piles (SSP) and soil with disposal of piles (SCP), analyzed at 3 (three) and 6 (six) months after deposition. Chromatographic analyses and analysis of heavy metal content by atomic absorption spectrometry were performed. The chromatograms were interpreted and evaluated for colors, terminations, radiations, integration between zones (central, internal, intermediate, and external), and biological activity. The data obtained were submitted to variance analysis and Tukey test at 5% probability. The Pfeiffer chromatography showed little difference between the treatments, showing better quality in the SSP, which presented greater integration between zones, especially on the soil surface. There was a significant increase in the Ni content at three months in the SCP, at 0-20 cm. At six months there was an increase in the Cr content in the SCP at 40-60 cm. However, the contents of heavy metals remained below the guideline values established by the resolution CONAMA nº 420. The Pfeiffer chromatography proved to be an efficient technique for monitoring soil quality, and it can be used as a diagnostic tool and complementary to chemical analyses.

Palavras-chave:

Qualidade do solo;
Cromatogramas;
Meio ambiente.

Keywords:

Soil quality;
Chromatograms;
Environment.

¹Discente UEMS, sendo o artigo, Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS).

²Docente UEMS, orientadora. Email: mariaagronomia@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Durante as primeiras revoluções industriais, o meio ambiente era visto apenas como um meio para extração de matéria-prima, ou seja, produzia-se sem se preocupar com as consequências. Contudo, o crescimento da produção resultou em impactos que não poderiam ser ignorados, surgindo assim, as primeiras conferências ambientais para a mitigação destes, chegando dessa forma nos termos sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, dentre outros. Assim, o solo outrora visto como um local de extração, produção e construção, passou a ser visto como um sistema essencial para a manutenção do ecossistema com múltiplas funções, logo, necessita ser preservado (BELLINI; MARQUES; XAVIER, 2022).

Nesse sentido, as definições da qualidade do solo consistem no desempenho de funções para a sustentação do ecossistema, que vai desde o desempenho biológico natural à capacidade de produção para fins antrópicos, tendo cada tipo de solo sua particularidade (SILVA et al., 2021). No Brasil, a qualidade e as demais funções do solo estão definidas pela resolução CONAMA Nº 420 (2009, alterada pela resolução 460/2013), destacando-se: servir como meio básico para a sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos; servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo; proteger as águas superficiais e subterrâneas.

Além disso, em termos de legislação brasileira, a lei nº 12.305/2010 estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cujo objetivo é criar medidas para um melhor aproveitamento e descarte adequado dos resíduos sólidos, visando ações como reciclagem, coleta seletiva, logística reversa e o princípio do poluidor-pagador (BRASIL, 2010), convergindo indiretamente para a manutenção da qualidade do solo.

Contudo, ainda que exista evolução, quando se trata do descarte adequado de rejeitos, o solo ainda é tratado como nas primeiras revoluções industriais, sendo apenas um meio para determinado fim, pois apesar da existência de legislações e locais adeptos a logística reversa, certos materiais que não podem ser reaproveitados, como é o caso das pilhas alcalinas, são descartados no lixo comum (SANTOS; YAFUSHI, 2018).

Consequentemente, o descarte inadequado de pilhas alcalinas na superfície do solo acarreta a sua contaminação, devido ao processo de decomposição das pilhas liberar metais como chumbo, zinco, níquel, cádmio, entre outros. Estes metais podem bioacumular nas plantas ou serem lixiviados até as camadas profundas do solo, e atingir o lençol freático. Todo esse processo não apenas desencadeia uma série de problemas ambientais afetando diretamente a qualidade do solo, como pode prejudicar a saúde da população local (BARROCO et al., 2018).

Dessa forma, entende-se que o monitoramento da qualidade do solo auxilia o acompanhamento das alterações físicas, químicas e biológicas causadas pela deposição desses materiais, sendo uma ferramenta importante para identificação e redução de possíveis impactos. As mudanças no solo podem ser observadas e investigadas com uso de diferentes metodologias, entre as quais destaca-se a cromatografia de Pfeiffer, uma técnica promissora capaz de demonstrar diferenças qualitativas do solo, além de ser um método rápido e de fácil execução e apresentar baixo custo (RIVERA; PINHEIRO, 2011).

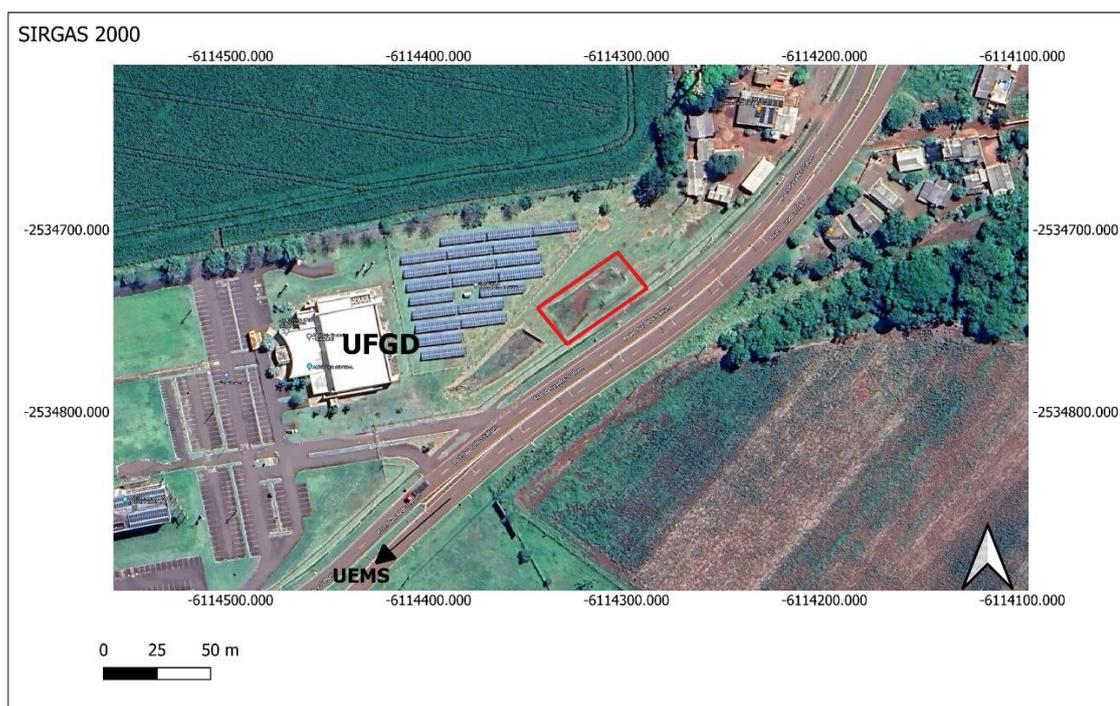
Em decorrência da problemática exposta, a pesquisa teve como objetivo avaliar a contaminação do solo após a deposição de pilhas alcalinas em sua superfície, analisando a viabilidade da cromatografia como indicador de qualidade do solo.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no campus da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), na cidade de Dourados - MS. O solo classificado como Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018) foi coletado

em área de pastagem (Figura 1) nas coordenadas 22°11'35.8"S e 54°55'33.6"W.

Figura 1 - Local de coleta das amostras de solo.



Fonte: Autores (2023).

A coleta foi realizada nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, separando uma pequena parte para caracterização inicial do solo, o restante foi alocado em oito canos de PVC de 70 cm de altura e 10 cm de diâmetro, respeitando-se a ordem das profundidades. Em seguida, foram separados quatro canos para deposição de pilhas alcalinas na superfície e quatro sem a deposição, com o intuito de se obter as repetições necessárias para análise estatística. Os canos foram organizados em uma caixa de madeira e transferidos para uma varanda de forma que estivessem expostos aos agentes climáticos, acrescentando as pilhas levemente amassadas para acelerar o processo de decomposição. Sendo após o período de 3 e 6 meses retiradas seis amostras de solo em cada profundidade, para realização das análises. Assim os tratamentos foram caracterizados como solo com deposição de pilhas (SCP) e solo sem deposição de pilhas (SSP), avaliados aos três e seis meses, em diferentes profundidades.

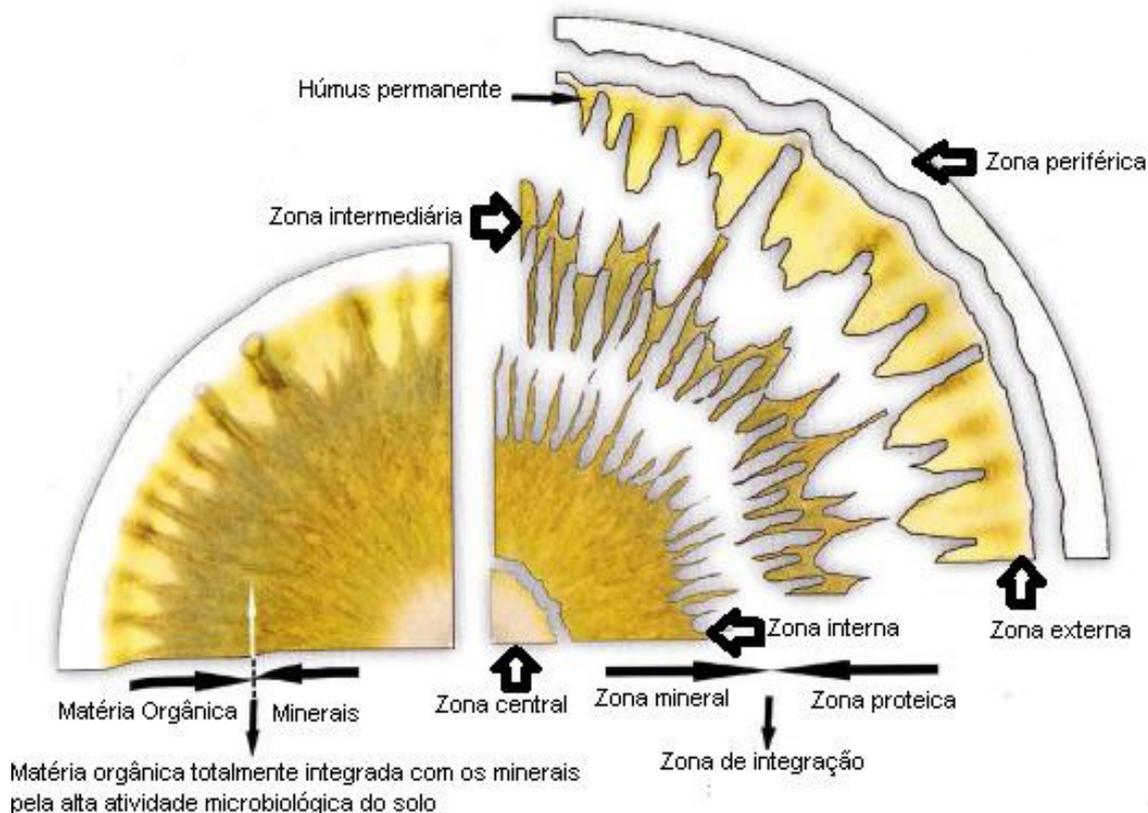
Para a análise cromatográfica e química, as amostras foram secas a sombra e encaminhadas ao laboratório. Conforme Rivera e Pinheiro (2011) para a cromatografia, as amostras foram peneiradas, maceradas no almofariz, pesadas 5 g e colocadas em erlenmeyers de 125 ml. Em seguida, foi preparada uma solução de hidróxido de sódio a 1% e acrescentou-se 50 ml no recipiente contendo o solo. Posteriormente, agitou-se os recipientes sete vezes no sentido horário e sete vezes no anti-horário, prosseguindo com um repouso de 15 minutos, repetindo o processo com o aumento do período de repouso para 1 hora e em seguida procedeu-se com um descanso final de 6 horas.

Durante o descanso das amostras, realizou-se a impregnação dos papéis filtros, utilizando-se o nitrato de prata (AgNO_3) a 0,5%. Logo após a secagem dos papéis, os cromatogramas foram impregnados com a solução contendo solo, e secos ao ar livre. As interpretações dos cromatogramas foram realizadas observando-se características das zonas circulares (central, interna, intermediária e externa), avaliando-se cor, formação radial (radiações), transição e integração entre zonas, formato de terminações e atividade biológica, a fim de analisar qualitativamente a qualidade do solo. De acordo com Rivera e Pinheiro (2011) tais variáveis permitem distinguir solo de boa e de má qualidade.

Após a interpretação dos cromatogramas foram atribuídos escores às variáveis conforme Matos e Santos (2021), analisando-se quantitativamente os resultados. Os cromatogramas foram avaliados individualmente, atribuindo-se notas de 0 a 10 para cor, radiações, integração entre zonas, terminações e atividade biológica.

Rivera e Pinheiro (2011) apresentam o cromatograma ideal (Figura 2) destacando como características ideais: cores em tons marrons e/ou cores vivas, terminações que atinjam ao máximo a zona externa formando pontos de explosão e manchas enzimáticas que indiquem uma boa atividade biológica e disponibilidade de nutrientes, radiações formando caminhos sinuosos que lembrem penas, integração entre as zonas de forma harmônica e sem divisões nítidas.

Figura 2 - Zonas constituintes e aspectos ideais de um cromatograma.



Fonte: Rivera e Pinheiro (2011).

A análise química para detecção de metais pesados foi realizada de acordo com Viana et al. (2017) e Moura et al. (2006). Os metais pesados (Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Zn e Ni) foram analisados através de espectrometria de absorção atômica (Shimadzu, modelo AA7000).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

3 RESULTADOS

Para fins de comparação, a análise de caracterização química e a análise inicial de metais pesados do solo resultaram nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Caracterização química do Latossolo Vermelho utilizado na pesquisa.

Prof. (cm)	pH	P(res)	P(-mehl)	P(rem)	K	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O	C.O
0-20	4,2	ns	2,1	ns	78	ns	0,2	0,4	0,2	1,1	5,83	16,8	9,7
20-40	4,2	ns	1,5	ns	17	ns	0,04	0,3	0,1	1,6	6,41	15,9	9,2
40-60	4,2	ns	1,5	ns	12	ns	0,03	0,3	0,1	1,2	6,41	15,3	8,9

Dados complementares

Prof. (cm)	SB	t	T	V	m	Ca/T	Mg/T	K/T	H+Al/T	Ca/Mg	Ca/k	Mg/k	Ca+Mg/K
	cmolc dm ⁻³			%		Relação entre bases (T)%				Relações entre bases			
0-20	0,8	1,9	6,6	12,2	57,8	5,7	3,5	3,0	88	1,7	1,9	1,1	3,0
20-40	0,5	2,0	6,9	7,0	76,5	4,8	1,6	0,6	93	3,0	8,3	2,8	11,0
40-60	0,4	1,6	6,9	6,4	73,3	5,0	1,0	0,4	94	4,9	11,3	2,3	13,7

ns = não solicitado; P(rem) Fósforo remanescente; P(res) Fósforo resina; P(mehl) = Fósforo Mehlich; SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; m = Sat. Alumínio; P (mehl), K, Cu, Fe, Mn e Zn = (Mehlich-1); Ca, Mg e Al = KCl 1,0 mol L⁻¹; S = Fosfato de cálcio monobásico; H+Al = Tampão SMP pH 7,5; M.O = método colorimétrico; Prof. = profundidade.

Fonte: Laboratório Sinergia (2023).

Tabela 2 - Análise inicial de metais pesados do Latossolo Vermelho utilizado na pesquisa.

Profundidade (cm)	Cd	Cr	Pb	Cu	Fe	Zn	Ni
	(mg kg ⁻¹)						
0-20	0,050	4,267	0,967	7,150	366,167	27,807	11,167
20-40	0,050	4,317	0,933	7,133	373,900	27,020	11,063
40-60	0,053	4,333	0,917	7,087	369,500	27,317	11,087

Fonte: Autores (2023).

Analisando-se os cromatogramas após 3 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície do solo, observa-se que na profundidade de 0-20 cm (Figura 3), os tratamentos SSP e SCP apresentaram padrões que não são desejáveis para um solo saudável, tais como terminações pontiagudas e desuniformes, bem como radiações em linhas mais retas e pouca ramificação, situação que se justifica pelo uso e manejo do solo na área de coleta. Além disso, SSP apresenta cor amarelada e marrom claro, integração parcial entre as zonas e terminação irregular não atingindo a extremidade do cromatograma. Enquanto o tratamento SCP apresenta tons de marrom escuro e a formação de um halo branco que separa as zonas interna e intermediária. Alguns autores relatam que a existência do halo branco está associada aos altos teores de alumínio no solo, observa-se na Tabela 1 que a saturação de alumínio no solo (m%) estava acima de 50% em todas as profundidades, porcentagem considerada alta para solos do Cerrado, conforme Sousa e Lobato (2004).

Figura 3 - Cromatogramas referentes a SSP e SCP na profundidade 0-20 cm, após 3 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície de um Latossolo Vermelho.

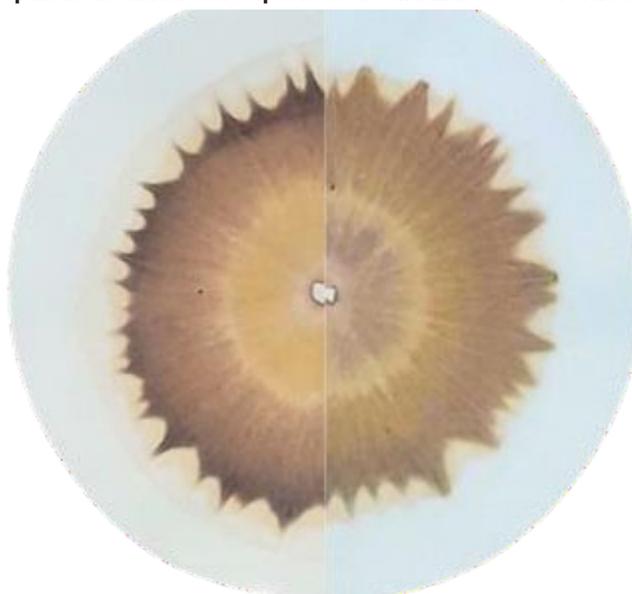


SSP SCP

Fonte: Autores (2023).

Na profundidade 20-40 cm (Figura 4), os cromatogramas de ambos os tratamentos apresentaram uma coloração com tons de amarelo, laranja e marrom claro, terminação irregular e radiações pouco ramificadas. O SCP se diferenciou pela coloração da zona interna e nítida separação entre zonas, indicando maior alteração na qualidade do solo, comparando-se ao padrão de cor e integração entre zonas observado em SSP.

Figura 4 - Cromatogramas referentes a SSP e SCP na profundidade 20-40 cm, após 3 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície de um Latossolo Vermelho.



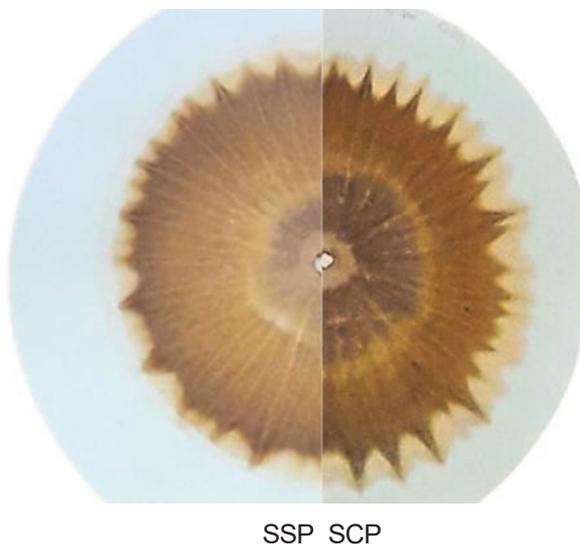
SSP SCP

Fonte: Autores (2023).

Na profundidade de 40-60 cm (Figura 5), os tratamentos apresentaram zonas maiores e separação nítida entre as zonas interna e intermediária, diferindo-se em termos de coloração, já que SSP apresen-

tou uma coloração mais amarelada e marrom, enquanto SCP mostrou uma coloração mais alaranjada e uma zona interna de cor marrom mais escuro.

Figura 5 - Cromatogramas referentes a SSP e SCP na profundidade 40-60 cm, após 3 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície de um Latossolo Vermelho.



SSP SCP
Fonte: Autores (2023).

Após 6 meses, observa-se maior tamanho da zona interna em SCP nas profundidades de 0- 20 cm (Figura 6) e 20-40 cm (Figura 7), comparando-se a SSP. Na profundidade de 0-20 cm, o tratamento SSP apresentou coloração marrom amarelada, com suave divisão entre zonas, terminação irregular e radiação com poucas ramificações. Enquanto SCP apresentou uma coloração marrom mais escura, com nítida divisão entre as zonas interna e intermediária por um halo branco que indica um problema em termos de qualidade, além disso, nota-se a presença de terminações irregulares e radiações com poucas ramificações.

Figura 6 - Cromatogramas referentes a SSP e SCP na profundidade 0-20 cm, após 6 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície de um Latossolo Vermelho.



SSP SCP
Fonte: Autores (2023).

O tratamento SSP, na profundidade 20-40 cm apresentou coloração marrom escuro e uma maior integração de zonas, enquanto o SCP apresentou uma nítida separação entre as mesmas e coloração mais clara. Ambos os tratamentos apresentaram terminações irregulares e radiações pouco ramificadas.

Figura 7 - Cromatogramas referentes a SSP e SCP na profundidade 20-40 cm, após 6 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície de um Latossolo Vermelho.



SSP SCP

Fonte: Autores (2023).

Na Figura 8, observa-se que na profundidade 40-60 cm o tratamento SSP apresentou uma coloração marrom, alaranjada e zona interna mais clara, com a presença de bolhas nas extremidades indicando atividade biológica e enzimática, demonstrando qualidade superior, enquanto o tratamento SCP apresentou uma coloração mais escura, nítida separação entre zonas, radiações pouco ramificadas e terminações mais pontiagudas.

Figura 8 - Cromatogramas referentes a SSP e SCP na profundidade 40-60 cm, após 6 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície de um Latossolo Vermelho.



SSP SCP

Fonte: Autores (2023).

A nítida separação entre zonas no SCP, com formação de um halo branco entre as zonas interna e intermediária, deve ser estudada mais detalhadamente, especialmente analisando-se os teores de alumínio em solos com deposição das pilhas alcalinas. Embora, a saturação por alumínio inicial no solo já estivesse alta, conforme abordado anteriormente, nota-se que a formação do halo branco foi predominante no tratamento SCP.

Quanto aos resultados dos escores das variáveis cromatográficas analisadas, na Tabela 3 encontram-se os valores referentes SSP e SCP após 3 meses de deposição das pilhas alcalinas na superfície do solo. Nota-se que após esse período não houve alterações em termos de terminações e atividade biológica.

No que diz respeito a variável cor, observa-se que o SCP apresentou melhor coloração nas profundidades 0-20 e 20-40 cm, comparando-se a SSP. Em termos de radiações SSP mostrou melhores resultados que SCP, não diferindo deste apenas na profundidade 20-40 cm. A integração entre as zonas também foi melhor em SSP, na profundidade 0-20 cm, e sem diferenças significativas entre os tratamentos nas demais profundidades. Ressalta-se que a menor integração entre zonas no SCP foi observada na profundidade 0-20 cm, onde foram depositadas as pilhas alcalinas.

Tabela 3 - Escores das variáveis cromatográficas analisadas após 3 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície de um Latossolo Vermelho.

Tratamento	Profundidade		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Cor			
SCP	4,00 aA	3,88 aA	3,42 bB
SSP	3,79 bB	3,63 bB	4,00 aA
CV (%) = 3,65			
Terminações			
SCP	1,42 aA	1,67 aA	1,75 aA
SSP	0,71 aA	1,38 aA	1,50 aA
CV (%) = 49,02			
Radiações			
SCP	4,04 bB	4,75 aA	3,75 bB
SSP	4,58 aA	4,42 aA	4,25 aA
CV (%) = 6,84			
Integração entre zonas			
SCP	0,75 bB	2,67 aA	2,25 aA
SSP	3,63 aA	2,25 aB	2,58 aB
CV (%) = 30,17			
Atividade biológica			
SCP	0,25 aA	0,42 aA	0,38 aA
SSP	0,00 aA	0,00 aA	0,08 aA
CV (%) = 188,82			

*Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. SSP: solo sem deposição de pilhas alcalinas; SCP: solo com deposição de pilhas alcalinas; CV: Coeficiente de variação

Fonte: Autores (2023).

Na Tabela 4, encontram-se os resultados dos escores das variáveis cromatográficas após 6 meses de deposição das pilhas alcalinas. Nota-se que após o período não houve alterações nas variáveis terminações, radiações e atividade biológica.

No entanto, no que diz respeito a cor, o SSP apresentou melhor coloração na profundidade de 0-20 cm, enquanto SCP na profundidade de 40-60 cm, não ocorrendo alterações significativas na profundidade de 20-40 cm. Em termos de integração de zonas, SSP apresentou uma melhor integração em relação a SCP em todas as profundidades, sendo as diferenças mais perceptíveis nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, o que pode ser justificado devido ao fato de a contaminação ocorrer inicialmente nas camadas superficiais e depois nas subsuperficiais.

Tabela 4 - Escores das variáveis cromatográficas analisadas após 6 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície de um Latossolo Vermelho.

Tratamento	Profundidade		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Cor			
SCP	3,79 aA	3,88 aA	3,83 aA
SSP	4,00 aA	4,00 aA	3,75 aB
CV (%) = 3,66			
Terminações			
SCP	0,75 aA	0,17 aA	0,00 aA
SSP	0,96 aA	0,17 aA	0,33 aA
CV (%) = 227,96			
Radiações			
SCP	4,54 aA	4,54 aA	4,42 aA
SSP	4,46 aA	4,29 aA	4,17 aA
CV (%) = 5,08			
Integração entre zonas			
SCP	0,75 bB	1,50 bB	3,17 bA
SSP	4,00 aA	4,50 aA	4,13 aA
CV (%) = 17,63			
Atividade biológica			
SCP	0,33 aA	0,00 aA	0,00 aA
SSP	0,21 aA	0,13 aA	0,13 aA
CV (%) = 311,66			

*Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. SSP: solo sem deposição de pilhas alcalinas; SCP: solo com deposição de pilhas alcalinas; CV: Coeficiente de variação

Fonte: Autores (2023).

Ao analisar os resultados obtidos após 3 e 6 meses (Tabelas 3 e 4), observa-se uma melhor integração das zonas em SSP, enquanto SCP apresentou uma piora ao longo do tempo, o mesmo ocorreu com a coloração nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, indicando perda da qualidade do solo em SCP. As demais variáveis não apresentaram alterações significativas, sugerindo a necessidade de avaliações após longo período de deposição. Cabe ressaltar que os resultados podem aparecer de formas distintas a partir da influência do tipo de solo, isso se dá devido a porcentagem de areia, silte, argila e

sua profundidade, juntamente com o modo de manejo do solo, esses fatores podem acelerar ou reduzir o processo de lixiviação.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados da análise de metais pesados após 3 meses de deposição de pilhas na superfície do solo, nas três profundidades avaliadas. Constata-se o aumento nos teores de níquel (Ni) em SCP na profundidade de 0-20 cm, demonstrando que a deposição da pilha na superfície do solo pode dar início à contaminação do solo.

Tabela 5 - Valores médios dos elementos Cd, Cr, Pb, Fe, Zn e Ni nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm, após 3 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície do solo.

Tratamento	Profundidade		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Cádmio (Cd) mg kg⁻¹			
SSP	0,053 aA	0,052A	0,055 aA
SCP	0,052 aA	0,054A	0,052 aA
CV (%)	8,63		
Cromo (Cr) mg kg⁻¹			
SSP	4,275 aA	4,183 aA	4,242 aA
SCP	4,267 aA	4,250 aA	4,100 Aa
CV (%)	3,22		
Chumbo (Pb) mg kg⁻¹			
SSP	0,942 aA	0,975 aA	0,964 aA
SCP	0,983 aA	0,950 aA	0,983 aA
CV (%)	4,77		
Cobre (Cu) mg kg⁻¹			
SSP	7,180 aA	7,106 aA	7,198 aA
SCP	7,128 aA	7,264 aA	7,122 aA
CV (%)	1,88		
Ferro (Fe) mg kg⁻¹			
SSP	368,500 aA	368,272 aA	368,217 aA
SCP	368,328 aA	366,845 aA	348,406 aA
CV (%)	5,65		
Zinco (Zn) mg kg⁻¹			
SSP	27,519 aA	27,337 aA	27,406 aA
SCP	27,522 aA	27,466 aA	27,243 aA
CV (%)	1,5		
Níquel (Ni) mg kg⁻¹			
SSP	10,734 bB	11,002 aAB	11,093 aA
SCP	11,167 aA	11,081 aA	11,033 aA
CV (%)	1,94		

*Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. SSP: solo sem deposição de pilhas alcalinas; SCP: solo com deposição de pilhas alcalinas; CV: Coeficiente de variação

Fonte: Autores (2023).

Os resultados apresentados na Tabela 6 demonstram que após os 6 meses de deposição houve

alteração nos teores do cromo (Cr) em SCP, com maior valor observado na profundidade 40-60 cm. Enquanto os demais elementos permaneceram sem alteração.

Tabela 6 - Valores médios dos elementos Cd, Cr, Pb, Fe, Zn e Ni nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm, após 6 meses de deposição de pilhas alcalinas na superfície do solo.

Tratamento	Profundidade		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Cádmio (Cd) mg kg⁻¹			
SSP	0,050 aA	0,055 aA	0,052 aA
SCP	0,053 aA	0,052 aA	0,052 aA
CV (%)	7,16		
Cromo (Cr) mg kg⁻¹			
SSP	4,300 aA	4,250 aA	4,325 aA
SCP	4,170 aB	4,267 aAB	4,492 aA
CV (%)	3,88		
Chumbo (Pb) mg kg⁻¹			
SSP	1,008 aA	0,992 aA	0,958 aA
SCP	0,958 aA	0,934 aA	0,992 aA
CV (%)	5,6		
Cobre (Cu) mg kg⁻¹			
SSP	7,241 aA	7,270 aA	7,262 aA
SCP	7,186 aA	7,223 aA	7,335 aA
CV (%)	2,33		
Ferro (Fe) mg kg⁻¹			
SSP	367,139 aA	367,289 aA	365,783 aA
SCP	366,461 aA	366,711 aA	368,978 aA
CV (%)	0,81		
Zinco (Zn) mg kg⁻¹			
SSP	27,253 aA	27,295 aA	27,512 aA
SCP	27,270 aA	27,682 aA	27,353 aA
CV (%)	1,55		
Níquel (Ni) mg kg⁻¹			
SSP	11,113 aA	11,051 aA	10,903 aA
SCP	11,098 aA	11,040 aA	11,052 aA
CV (%)	1,55		

*Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. SSP: solo sem deposição de pilhas alcalinas; SCP: solo com deposição de pilhas alcalinas; CV: Coeficiente de variação

Fonte: Autores (2023).

Embora entenda-se que o aumento dos teores de Ni e Cr no solo ocorreu a partir da deposição das pilhas, ocasionando o início da contaminação do solo, ao compará-los com os valores da resolução CONAMA nº420 (2009), demonstrados na Tabela 7, constata-se que esses se adequam aos padrões estabelecidos, não sendo observados valores acima dos considerados de prevenção e intervenção.

Tabela 7- Valores observados de Cr e Ni e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, considerados pela resolução CONAMA nº 420 (2009).

Profundidade (cm)	Valores observados (mg.kg ⁻¹)				CONAMA Nº 420 (mg.kg ⁻¹ de peso seco)			
	Inicial		Após expermineto		Cr		Ni	
	Cr Ni Cr (SCP- 3 meses)	Ni (SCP - 6 meses)	VP	VI	VP	VI		
0-20	4,267	11,167	4,170	11,167	75	300	30	100
20-40	4,317	11,063	4,267	11,081				
40-60	4,333	11,087	4,492	11,033				

*VP = valores de prevenção; VI = valores de investigação (área residencial).

Fonte: CONAMA nº420 (2009).

Contudo, ressalta-se que a exposição do solo aos resíduos por um período prolongado e em maior proporção pode levar à situação de contaminação, uma vez que, em apenas seis meses foi possível constatar o aumento dos teores de Ni e Cr em superfície e subsuperfície.

4 CONCLUSÕES

A cromatografia de Pfeiffer diagnosticou a redução da qualidade do solo após deposição de pilhas alcalinas em superfície, demonstrando ser uma metodologia viável para fins de monitoramento ambiental.

A análise dos cromatogramas quanto à cor, ramificações, transição entre zonas, terminações e atividade biológica mostrou qualidade do solo inferior em SCP após 6 meses de deposição de pilhas alcalinas.

Os teores de Ni e Cr aumentaram nas profundidades de 0 - 20 e 40 - 60 cm, respectivamente, ao longo do tempo após a deposição de pilhas alcalinas na superfície do solo, mas mantiveram-se abaixo dos valores norteadores da resolução CONAMA nº 420. Salienta-se que embora os valores de metais pesados não tenham caracterizado a contaminação do solo, o estudo demonstrou a redução da qualidade edáfica.

5 REFERÊNCIAS

BARROCO, I. S.; CASTRO, F. dos S.; TAMIASSO-MARTINHON, P.; ROCHA, A. S.; SOUSA, C. R. Impactos ambientais de metais pesados de pilhas na tríade água-ar-solo. **Revista Scientiarum Historia**, v.1, n.1, p.10, 2018. DOI: https://doi.org/10.51919/revista_sh.v1i1.234. Acesso em: 23 nov. 2022.

BELLINI, E. M.; MARQUES, R.; XAVIER, C. R. Um estudo sobre a análise do ciclo de vida de pilhas e a sustentabilidade ambiental. **Revista Contemporânea (Contemporary Journal)**, [S. l.], v. 2, n. 5, p. 619–637, 2022. DOI:10.56083/RCV2N5-006. Disponível em: <https://www.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/274>. Acesso em: 27 fev. 2023.

BRASIL - PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. [S. l.], 2010. Disponível em: 22 http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 28 out. 2021

CONAMA. **Resolução nº 420**, de 30 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. [S. l.], 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 3 out. 2021.

CONAMA. **Resolução nº 460**, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. [S. l.], 6 mar. 2020. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>. Acesso em: 3 out. 2021.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000. 66 p.

MATOS, M. F.; SANTOS, M. A. N. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SOLOS EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS POR MEIO DA CROMATOLOGRAFIA DE PFEIFFER. **Revista de Estudos Ambientais**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 35-46, jun. 2022. ISSN 1983-1501. Disponível em: <<https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/10538>>. Acesso em: 10 jun. 2023. doi: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2021v23n2p35-46>.

MOURA, M. C. S.; LOPES, A. N. C.; MOITA, G. C.; MOITA NETO, J. M. **Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina**. Química Nova, v. 29, n. 3, p. 429-435, 2006.

RIVERA, J. R.; PINHEIRO, S. **Cromatografia: Agricultura Orgânica**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <https://morrallcampesino.files.wordpress.com/2016/03/cromatografia-restrepo-pinheiro.pdf>. Acesso em: 22 out. 2021.

SANTOS, F. H. A.; YAFUSHI, C. A. P. **Revista online**. O descarte adequado do Lixo Eletrônico como forma de desenvolvimento sustentável: Estudo de caso múltiplo no município de Garça/SP, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://fatecgarca.edu.br/ojs/index.php/efatec/article/view/143/133>. Acesso em: 7 out. 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M, R.; ALMEIRA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Brasília-DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 25 out. 2021.

SILVA, M. de O.; SANTOS, M. P. dos; SOUSA, A. C. da P., SILVA, R. L. V. da; MOURA, I. A. A. de; SILVA, R. S. da; COSTA, K. D. da S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável / Soil quality: biological indicators for sustainable management. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-463. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23374>. Acesso em: 28 feb. 2023.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.



VIANA, L. F.; SÚAREZ, Y. R.; CARDOSO, C. A. L.; CRISPIM, B. A.; GRISOLIA, A. B.; LIMA-JUNIOR, S. E.
Mutagenic and genotoxic effects and metal contaminations in fish of the Amambai River, Upper Paraná River,
Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 1-9, 2017.