



AValiação DA QUALIDADE DE SOLOS EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS POR MEIO DA CROMATOGRÁFIA DE PFEIFFER

Matheus Faria Matos¹ e Maria Aparecida do Nascimento dos Santos²

Resumo: O objetivo do estudo foi avaliar a qualidade de solos destinados a disposição de resíduos sólidos por meio da Cromatografia de Pfeiffer, a fim de diagnosticar a viabilidade dessa ferramenta de baixo custo para o monitoramento ambiental. Amostras de solo foram coletadas em dois aterros sanitários (AS1 e AS2) e dois lixões (ativo - LA e desativado - LD), em três profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm), nas distâncias de 1, 5 e 10 m a partir dos taludes das células dos aterros e do ponto central de disposição nos lixões. As amostras foram submetidas a análise cromatográfica. Para a avaliação qualitativa utilizou-se os parâmetros cor, integração entre zonas, radiações, atividade biológica e terminações, aos quais foram atribuídos escores. A quantificação da área das zonas (central, interna, intermediária, externa e periférica) dos cromatogramas foi efetuada com o software ImageJ. A melhor qualidade do solo foi observada em AS2 com escores médios dos parâmetros acima de 8,0, enquanto LA apresentou a pior qualidade do solo, com escores médios igual a 1,7. AS2 e AS1 apresentaram as maiores áreas dos cromatogramas totalizando aproximadamente 13.000 mm², considerando-se as zonas central, interna, intermediária e externa. Concluiu-se que há padronização das cromas relacionadas aos locais de amostragem, ocorrendo menor qualidade nos solos em áreas de lixões, sendo detectável via cromatografia de Pfeiffer a perda da qualidade edáfica em virtude da forma de disposição de resíduos. A aplicação desta técnica mostrou-se viável para o monitoramento da qualidade ambiental dos solos, uma vez que gera informações que permitem investigar ou confirmar a ocorrência de passivos.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Monitoramento ambiental. Resíduo sólido.

1 Introdução

O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional atrelado a urbanização e a revolução tecnológica vêm propiciando mudanças no estilo de vida e nos modos de consumo energético, sendo que como influência direta de tais processos, têm-se o aumento de forma exponencial da produção de resíduos sólidos. Ademais, destaca-se a evolução dos resíduos que passaram a ser constituídos de elementos sintéticos e nocivos aos ecossistemas e à saúde humana (GOUVEIA, 2012).

Conforme Silva (2018), quando não são aplicadas técnicas e diretrizes ambientais, os locais de armazenamento e de disposição final dos resíduos sólidos (como o solo) tornam-se ambientes propícios para a proliferação de agentes transmissores de patógenos e animais sinantrópicos. Neste cenário, uma vez dispostos em contato direto com o solo, os resíduos sólidos comprometem a qualidade edáfica, hídrica e do ar, por serem fontes de compostos orgânicos voláteis, pesticidas, solventes,

metais pesados, derivados do petróleo, entre outros (NAGALLI, 2014).

Os denominados lixões são considerados focos potenciais de poluição, influenciando negativamente na qualidade de vida, saúde humana e ambiental nas regiões sob sua influência (OLIVEIRA et al., 2016). Assim, o lixão ativo ou desativado pode ser enquadrado como um passivo ambiental, em virtude das obrigações adquiridas de forma voluntária ou involuntária, que envolveram instituição privada, pública ou o proprietário da área com o meio ambiente e acarretaram algum dano ambiental (PECCINI, 2012). Os passivos ambientais são danos acumulativos infligidos ao meio ambiente como resultado das atividades antrópicas que trazem riscos à coletividade, por isso devem ser sanados para a manutenção do bem-estar da sociedade (BARROS; AQUINO, 2020).

Em defesa dos princípios, objetivos e instrumentos dessa esfera ambiental, a Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010) institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e a resolução n. 420 (CONAMA, 2009) trata em seu artigo 14 do controle da qualidade do

¹E-mail: matheus.fariamatos@hotmail.com

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Campus de Cassilândia. Rodovia MS 306, km 6,4. Cassilândia-MS, Brasil.

²E-mail: m.cida@uemms.br

solo. Nesse âmbito, o processo de monitoramento em aterros sanitários envolve equipes de profissionais multidisciplinares, e quando executado de forma correta possibilita a identificação, correção e prevenção de impactos ambientais (BORGES; VIMEIRO; CATAPRETA, 2016). Segundo Santos (2013), as metodologias de investigação e avaliação ambiental de áreas contaminadas incluem coleta de amostras de solo superficial e avaliação da qualidade do solo, entre outros.

Em tal contexto, cita-se a utilização da cromatografia de Pfeiffer, existente a mais de 80 anos e que se destacou como uma das principais técnicas laboratoriais do século XX aplicada à agroecologia. De acordo com Pinheiro (2011) é um método físico-químico de separação de diferentes componentes para a descrição de substâncias de elevado nível de complexidade. Conforme Rivera e Pinheiro (2011), consiste em aplicar uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% a uma amostra de solo, solubilizando substâncias nitrogenadas que são impregnadas em um papel filtro específico e sensível tratado com uma solução de nitrato de prata (AgNO_3) a 0,5%, revelando zonas com cadenciadas séries de cores e distâncias específicas. Essa ferramenta permite estudar qualitativamente o solo avaliando a atividade metabólica microbiana presente na amostra. Entretanto, pesquisas científicas utilizando essa metodologia para monitoramento em locais com passivo ambiental são escassas.

Deste modo, a pesquisa objetivou avaliar a qualidade de solos em áreas de disposição de resíduos sólidos por meio da cromatografia de Pfeiffer, bem como investigar a viabilidade da aplicação dessa ferramenta de baixo custo para a constatação de passivo ambiental e no monitoramento ambiental.

2 Metodologia

2.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada em três municípios do estado de Mato Grosso do Sul. O município 1 situa-se na região leste e a 333 km da capital (Campo Grande - MS), sendo neste localizados o aterro sanitário 1 (AS1) e o lixão desativado (LD). No centro-sul do estado e a 235 km da capital situa-se o município 2, onde encontra-se o aterro sanitário 2 (AS2). A 267 km da capital sul-mato-grossense e no sudoeste do estado

localiza-se o município 3, onde situa-se o lixão ativo (LA).

2.2 Amostragem de solo

No dia 30/11/2018 foram coletadas amostras de solo no aterro sanitário 1 e no lixão desativado. Nos dias 29/05/2019 e 04/06/2019 coletou-se amostras no aterro sanitário 2 e no lixão ativo. O lixão desativado encontrava-se nesta situação há 4 anos, enquanto o lixão ativo estava em operação há 21 anos, e a célula de disposição onde ocorreram as coletas há aproximadamente 2 anos. O aterro sanitário 1 e o aterro sanitário 2 estavam em operação há 4 e 12 anos, respectivamente, sendo as coletas realizadas em células de disposição com idade de 4 anos, em ambos os locais.

As coletas foram realizadas com auxílio de uma trena graduada em milímetros utilizada para definição dos pontos de amostragem, situados a 1, 5 e 10 metros do talude da célula, um trado holandês para perfuração dos pontos em 0-20, 20-40 e 40-60 centímetros de profundidade. Coletou-se uma amostra por distância, em cada profundidade, nos quatro locais de amostragem, totalizando 36 amostras simples, as quais foram subdivididas para realização das análises cromatográficas em duplicata. A coleta ocorreu a jusante da direção da percolação do chorume em relação a face da célula de disposição ou do ponto de maior disposição de resíduos sólidos (lixão), sendo a declividade do local considerada com apoio da direção de um corpo hídrico (Figura 1). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes e identificadas de acordo com local, distância e profundidade.

2.3 Análise cromatográfica

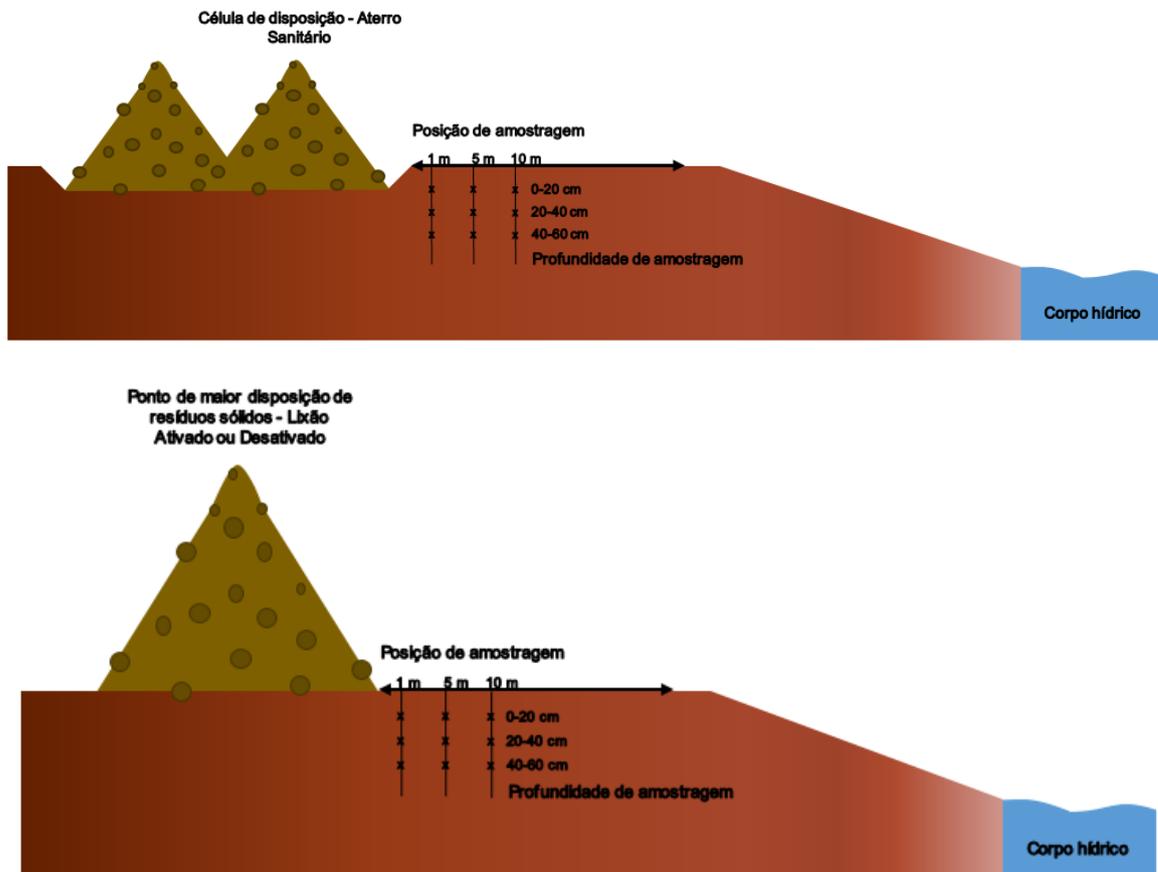
No laboratório de ciência dos materiais - CEPEMAT da UEMS/Sede, realizou-se a secagem das amostras à sombra durante sete dias. Em seguida, no laboratório de química experimental da UEMS/Sede, realizaram-se os procedimentos de peneiramento, moagem com pistilo e almofariz, e o acondicionamento em potes plásticos.

No período de 10/12/2018 a 18/12/2018 e de 04/07/2019 a 10/07/2019, as amostras foram preparadas para execução da análise cromatográfica, sendo manuseadas

entre seis e doze amostras por dia, realizando-se a experimentação em duplicatas. Para a confecção dos cromatogramas, pesou-se 5 g de amostra de solo seco e depositou-se em um Erlenmeyer de 125 ml, adicionando-se, em seguida, 50 ml de solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1%. As suspensões resultantes foram agitadas respeitando-se uma agitação padronizada de sete movimentos circulares para a direita e sete movimentos circulares para a esquerda, continuamente por dois minutos, seguindo-se com um intervalo de descanso de quinze minutos, agitação padronizada, descanso de uma hora, agitação e descanso por seis horas.

Durante o período de repouso das amostras, realizou-se a impregnação do papel filtro com a solução reveladora de nitrato de prata (AgNO_3) a 0,5%. Em seguida, procedeu-se a secagem destes papéis durante quatro horas em uma caixa vedada contra luminosidade. Concluída a secagem, com auxílio de pipetas e placas de Petri realizou-se a impregnação do sobrenadante da suspensão do solo no papel filtro para a geração das cromas. Realizada a impregnação, os papéis filtros foram deixados sobre a bancada para secagem, durante dois dias sem contato direto com a luz.

Figura 1 - Posição e profundidade de amostragem nas áreas de aterro sanitário e lixão



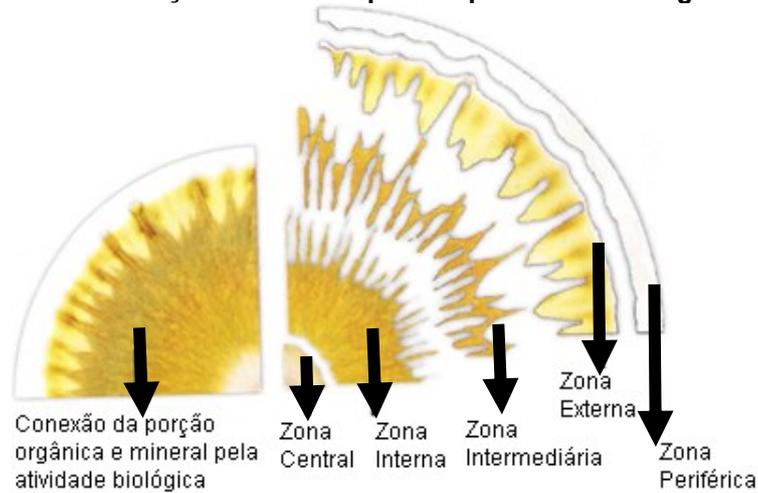
Fonte: Autores (2021)

2.4 Interpretação dos cromatogramas

Após confecção dos cromatogramas, realizou-se as análises e leituras das zonas circulares (central, interna, intermediária e externa - Figura 2), avaliando-se as seguintes

variáveis: cor, integração entre zonas, presença de radiações, atividade biológica e formato de terminações, a fim de analisar a qualidade do solo, conforme metodologia descrita em Rivera e Pinheiro (2011).

Figura 2 - Identificação das zonas que compõem o cromatograma



Fonte: Adaptado de Rivera e Pinheiro (2011)

De acordo com a metodologia preconizada por Rivera e Pinheiro (2011), foram elaborados escores de 0 a 10 para os

parâmetros diagnósticos, demonstrados no Quadro 1.

Quadro 1 - Variáveis diagnósticas e escores considerados para avaliação quantitativa

(Continua)

Variável	Descrição	Escore				
		0	1 a 4	5	6 a 9	10
Cor	Ideal cores marrons e vivas	negro, cinza, pardo ou muito escuro, lilás, violeta ou azuladas	cores que remetem ao café, sem muito brilho e vivacidade	café muito claro ou muito escuro	aspecto amarelo ou dourado com brilho	amarelo, dourado, alaranjado, avermelhado, marrom claro e esverdeado (cores vivas)
Terminações	A presença de terminações em forma de explosão e manchas enzimáticas indicam intensa atividade biológica no solo e disponibilidade de nutrientes (manchas entre dentes)	plana, circular e sem borda, dentes de cavalo, dentes pontiagudos, forma de agulhas irregulares, forma de grão de milho	presença de manchas enzimáticas, mas que não chegam na metade da zona externa	apresentando-se ao menos parcialmente em forma de explosão e manchas enzimáticas	presença em grande parte de manchas e explosões que chegam até a borda da zona externa, com cor marcante	apresentando-se totalmente em forma de explosão e manchas enzimáticas
Radiações	Caminhos sinuosos altamente ramificados lembrando penas é a condição ideal	completamente ausentes	presença de formação do tipo agulha, em maior ou menor grau	formação de linhas retas e/ou caminhos sinuosos ramificados (aspecto de pena) não tão bem demarcados	presença em grande parte de ramificações do tipo pena bem espessas	formação de caminhos sinuosos ramificados por todo cromatograma terminando em pequenas nuvens ou pontos (bolinhas) de cor marrom suave

Quadro 1 - Variáveis diagnósticas e escores considerados para avaliação quantitativa (Conclusão)

Variável	Descrição	Escore				
		0	1 a 4	5	6 a 9	10
Integração entre zonas	As zonas (central, interna, intermediária e externa) devem apresentar integração harmoniosa	ausência de integração	integração entre 1 ou 2 zonas, com limites visíveis e marcantes	integração parcial entre algumas zonas	integração entre 4 zonas e limites visíveis	integração total entre zonas
Atividade biológica	Nas extremidades do cromatograma devem aparecer manchas e pontuações de cor marrons indicando atividade enzimática	ausência de nuvens ou pontos (bolinhas) de cor marrom suave na porção terminal das ramificações	poucas nuvens ou pontos nas porções terminais das ramificações	presença mediana	presença de manchas, nuvens ou pontuações em grande parte da zona externa	presença próxima à totalidade

Fonte: Autores (2021)

Essa avaliação foi executada para cada um dos cromatogramas por dois avaliadores, a fim de evitar dados tendenciosos, e posteriormente calculada a média entre os escores atribuídos. Os avaliadores, pesquisadores colaboradores do estudo, possuíam conhecimento sobre a metodologia de Pfeiffer e interpretação de cromatogramas. Com as médias foram gerados gráficos do tipo “radar”, para as distâncias avaliadas (1, 5 e 10 metros), comparando-se os resultados encontrados nas áreas.

2.5 Determinação da área das zonas do cromatograma

Os cromatogramas foram digitalizados com o auxílio de um scanner com resolução de 300 dpi. Em seguida, com o auxílio do *software* ImageJ, efetuou-se o cálculo das áreas (em milímetros quadrados) de todas as zonas diagnósticas (central, interna, intermediária, externa e periférica), comparando-as, buscando-se associar os valores obtidos ao uso e ocupação do solo nas áreas, presença ou não de passivo ambiental.

3 Resultados

3.1 Descrição qualitativa dos cromatogramas

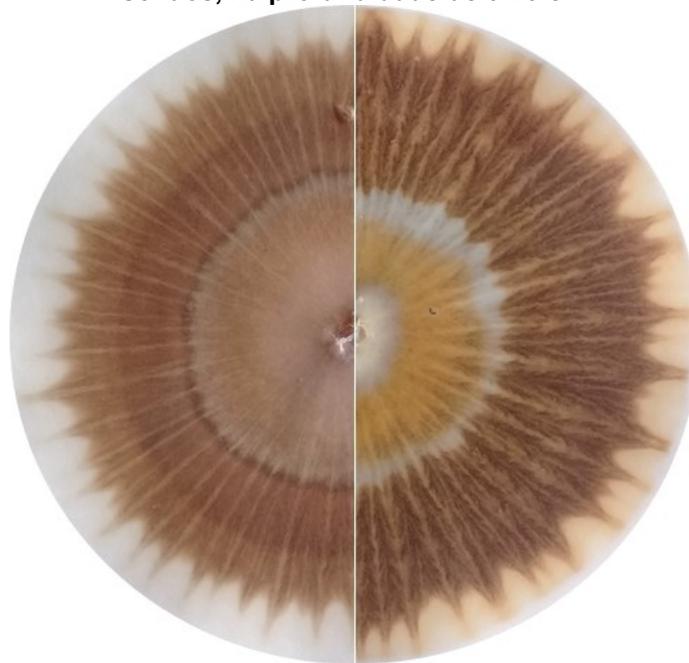
LA apresentou padrões identificando a pior qualidade do solo, seguido por LD, demonstrando aspectos de má qualidade (radiações em forma de agulhas, presença de anéis concêntricos na transição entre algumas zonas e terminações pontiagudas), porém em geral com cores mais vivas e gradientes de transição tênues. Já os cromatogramas referentes a AS1 e AS2 expressaram boa qualidade, destacando-se AS2 com características de um solo em melhor equilíbrio (cores vibrantes e intensas, presença de radiações semelhantes a plumas, transição suave entre zonas, entre outros), principalmente no ponto de distância de 10 m do talude celular, comportamento certamente relacionado a menor disposição de resíduos sólidos no local.

A Figura 3 apresenta a comparação entre LA e AS2, no ponto de 1 m e na profundidade de 0-20 centímetros. Observa-se a presença de cores mais intensas e maior número de radiações em forma de plumas em AS2, demonstrando melhor qualidade do solo comparando-se a LA.

Comparando-se LD com AS1 no ponto de 5 m e profundidade de 40-60 centímetros (Figura 4), observa-se certa harmonia no cromatograma, com zonas espessas e integradas, explosão nas terminações (indicativo de elevada atividade enzimática) que refletem uma satisfatória qualidade do solo em AS1, já para LD, notam-se alguns fatores que indicam uma baixa qualidade: radiações do tipo agulha e zona enzimática não desenvolvida, indicando que a microbiota não está em equilíbrio com a parte orgânica e química deste solo. Em

contrapartida suas cores e integração entre zonas demonstram que sua qualidade não está totalmente afetada, com boa presença de material orgânico. A existência da matéria orgânica não necessariamente significa elevada atividade biológica, pois deve-se considerar a origem e composição desse material, já que os resíduos depositados especialmente nas áreas de lixões, na maioria das vezes não são submetidos aos adequados processos de separação e tratamento, controle e/ou monitoramento dos riscos ambientais.

Figura 3 - Comparação dos cromatogramas referentes as amostras do lixão ativo (LA) e aterro sanitário 2 (AS2), coletadas na distância de 1 m da célula de disposição dos resíduos sólidos, na profundidade de 0-20 cm



Fonte: Autores (2021)

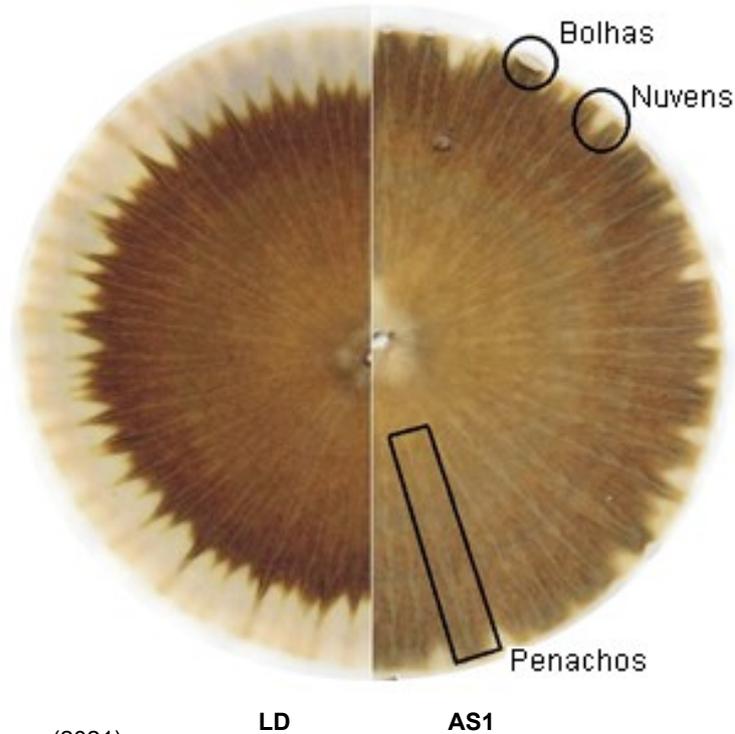
LA

AS2

De acordo com Bezerra (2018) a zona externa indica a zona enzimática ou nutricional do cromatograma, podendo em alguns casos estar ausente ou se manifestar como uma zona larga, com cores que variam do castanho escuro ao tom ocre. A expressão de boa qualidade são as terminações do tipo bolsas (formando bolhas) e nuvens com bordadura em tons café claro e escuro, ramificações do tipo penachos, cores vivas e presença de gradiente de integração, que mostram o valor biológico e as reservas nutricionais revelando a vitalidade dos solos. No entanto, segundo Ribeiro et al. (2016), a presença de dentes, grãos, formação de agulhas ou irregularidades não são desejáveis, significam baixa atividade enzimática e baixa variedade nutricional.

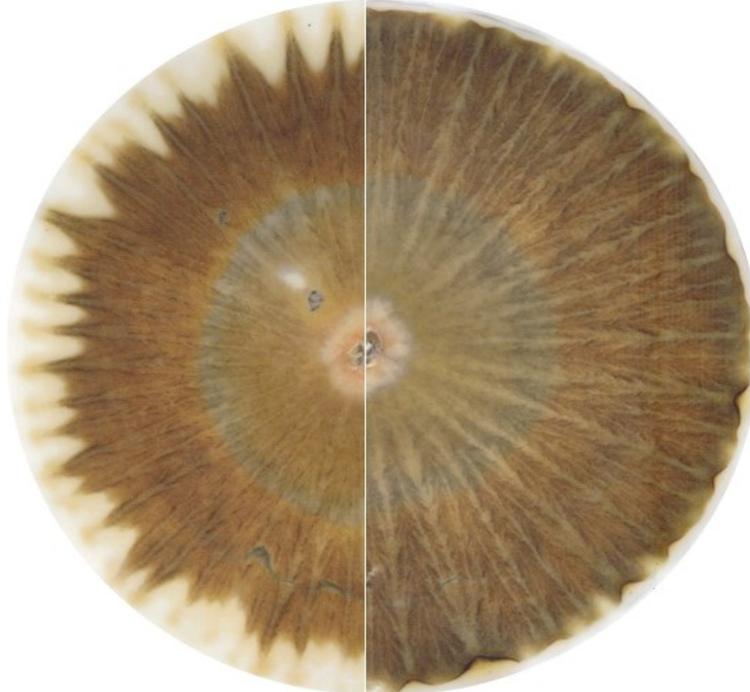
No ponto a 10 m e profundidade de 0-20 centímetros em LA, observam-se alguns aspectos que indicam má qualidade do solo, como a marcada transição da zona proteica para zona enzimática, radiações pouco desenvolvidas e terminações pontiagudas em relação as apresentadas em AS2. O cromatograma AS2, por sua vez, apresenta-se entre todos os avaliados como o que indica a melhor qualidade do solo, com consideráveis aspectos positivos em relação a cor, tamanho de zonas, quantidade de matéria orgânica, notáveis radiações do tipo pluma, terminações com explosões e principalmente por sua integração entre zonas (Figura 5).

Figura 4 - Comparação dos cromatogramas referentes as amostras do lixão desativado (LD) e aterro sanitário 1 (AS1), coletadas na distância de 5 m da célula de disposição dos resíduos sólidos, na profundidade de 40-60 cm



Fonte: Autores (2021)

Figura 5 - Comparação dos cromatogramas referentes as amostras do lixão ativo (LA) e aterro sanitário 2 (AS2), coletadas na distância de 10 m da célula de disposição dos resíduos sólidos, na profundidade de 0-20 cm



Fonte: Autores (2021)

LA AS2

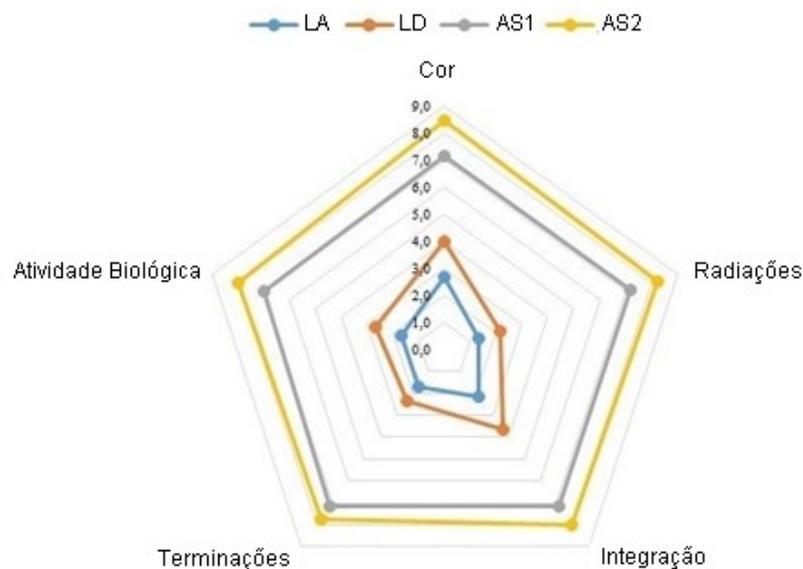
De modo geral, independentemente da área avaliada (LA, LD, AS1 e AS2) e da profundidade (0-20, 20-40 e 40-60 cm) observou-se pela análise qualitativa dos cromatogramas que quanto mais distante do ponto de disposição dos resíduos sólidos, melhores tornaram-se os aspectos que refletem a qualidade dos solos.

3.2 Variáveis diagnósticas e escores

O LA apresentou os piores valores médios dos parâmetros analisados, seguido de LD. Por outro lado, os melhores resultados para as três distâncias avaliadas foram encontrados em AS2 e AS1. Considerando-se

as cinco variáveis diagnósticas (cor, radiações, atividade biológica, integração e terminações), AS2 apresenta uma média de 8,1 seguido por AS1 com qualidade do solo similar e média de 7,1 (Figura 6). LA e LD possuem médias de 3,0 e 1,9, respectivamente, apresentando bons resultados quanto a cor e integração, e piores no que diz respeito a radiações e terminações, evidenciando comportamento possivelmente ligado a contaminação, uma vez que o ponto de 1 m estava localizado próximo ao ponto de disposição dos resíduos, ocorrendo facilmente o escoamento superficial e infiltração radial do chorume gerado pelo resíduo sólido.

Figura 6 - Valores médios de atividade biológica, radiações, terminações, integração e cor entre zonas, avaliados em amostras coletadas na distância de 1 m da célula de disposição dos resíduos sólidos no lixão ativo (LA), lixão desativado (LD), aterro sanitário 1 (AS1) e aterro sanitário 2 (AS2)



Fonte: Autores (2021)

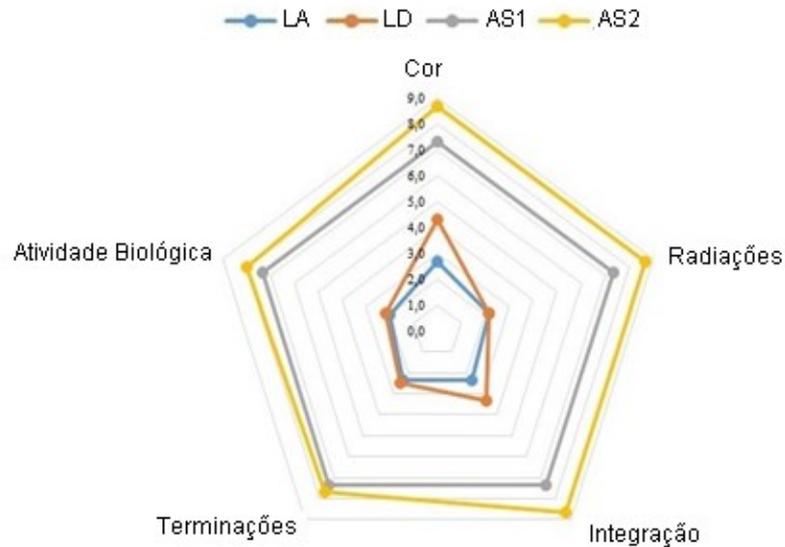
No ponto de 5 m (Figura 7), nota-se o aumento das médias para LA, AS1 e AS2 sendo que o primeiro apresenta uma melhora em termos de radiações e atividade biológica, variáveis essas intimamente ligadas à parte organomineral do solo conforme Rivera e Pinheiro (2011), identificando uma possível relação entre distância do talude e qualidade do solo.

AS2 apresenta uma melhora no aspecto integração e radiações elevando a média de escores das variáveis analisadas para 8,3. Em LD observa-se redução na atividade biológica e avanço de suas terminações propiciando uma média de 2,9 (Figura 7). Para uma análise mais aprofundada torna-se indispensável o

levantamento histórico investigativo do uso do solo nas áreas, bem como a execução de análises químicas, microbiológicas e físicas. Enfatiza-se assim, o uso da cromatografia de Pfeiffer como uma ferramenta que permite indicar a possibilidade de existência de passivo, servindo como uma espécie de "termômetro", possibilitando selecionar os pontos ideais para realização de sondagens e instalação de poços de monitoramento ambiental, reduzindo assim custos e garantindo maior acurácia no processo.

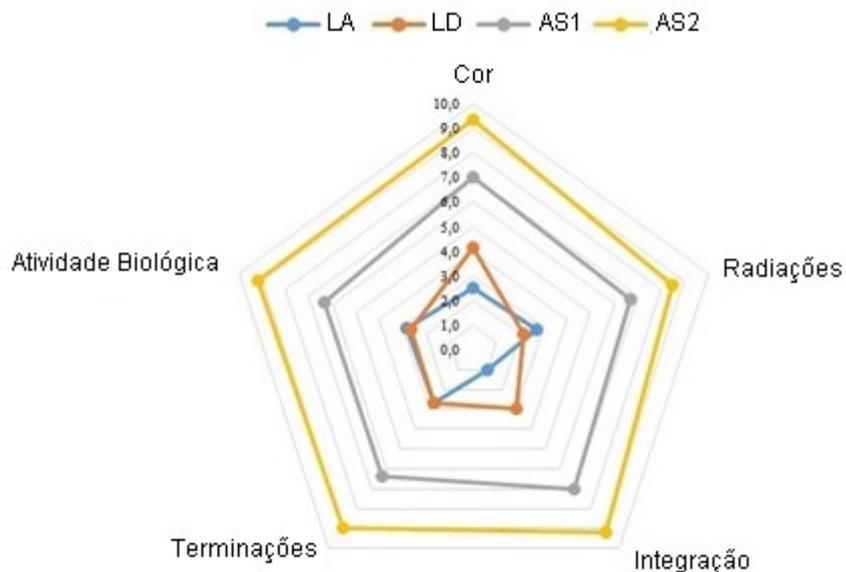
Para o ponto de 10 m de distância, há o aumento dos valores médios das variáveis diagnósticas no AS2 em relação as distâncias anteriores, culminando na elevação da média para 9,0 (Figura 8).

Figura 7 - Valores médios de atividade biológica, radiações, terminações, integração e cor entre zonas, avaliados em amostras coletadas na distância de 5 m da célula de disposição dos resíduos sólidos no lixão ativo (LA), lixão desativado (LD), aterro sanitário 1 (AS1) e aterro sanitário 2 (AS2)



Fonte: Autores (2021)

Figura 8 - Valores médios de atividade biológica, radiações, terminações, integração e cor entre zonas, avaliados em amostras coletadas na distância de 10 m da célula de disposição dos resíduos sólidos no lixão ativo (LA), lixão desativado (LD), aterro sanitário 1 (AS1) e aterro sanitário 2 (AS2)



Fonte: Autores (2021)

Em AS1 houve uma redução da atividade biológica e terminações, e no LD o inverso, ou seja, aumento nos valores médios das mesmas variáveis. Para LA a média de

escores foi igual a 2,3 e nota-se uma progressão na atividade biológica, terminação e radiação, entretanto, percebe-se um decréscimo significativo em sua integração,

demonstrando que mesmo com variáveis microbiológicas em melhor estado, ainda há uma descontinuidade na relação química e microbiota do solo neste ponto.

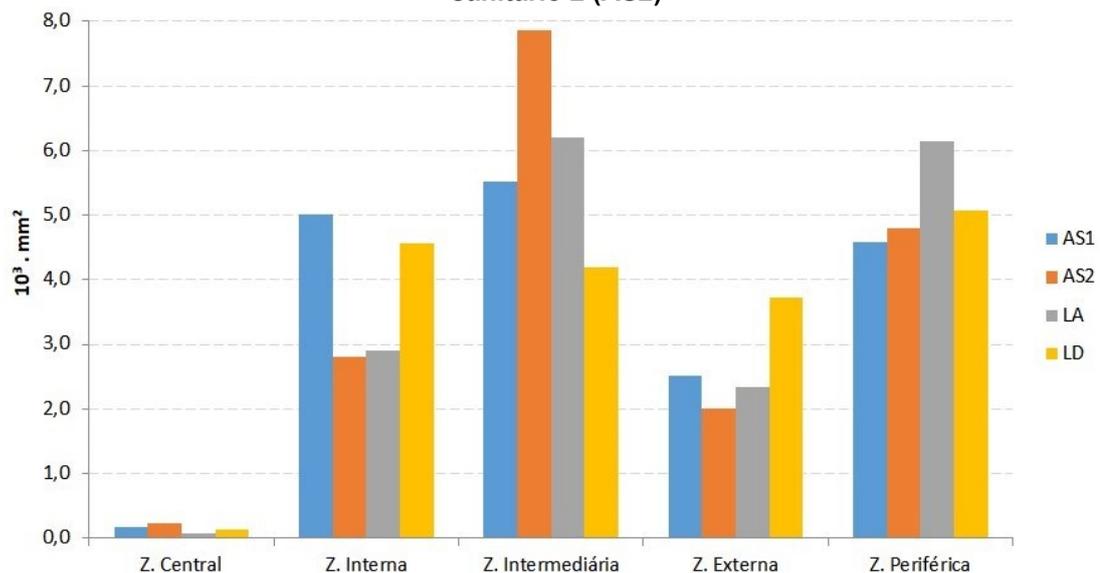
3.3 Zonas cromatográficas quantificadas

Considerando-se as áreas de cada zona (central, interna, intermediária, externa e periférica) dos cromatogramas avaliados, constata-se que a zona central, que se relaciona com a aeração do solo, apresentou maiores resultados em AS2 (222,0 mm²) e AS1 (164,4 mm²), sendo que nas áreas não controladas o LD (132,9 mm²) mostra-se superior a LA (82,4 mm²) (Figura 9). Esses valores sugerem em quais áreas poderá existir problemas com compactação do solo

(LD e LA) e redução na atividade da microbiota.

Para a zona interna (representa a parte mineral do solo) observa-se em ordem decrescente AS1 (5.014,9 mm²), LD (4.553,5 mm²), LA (2.905,3 mm²) e AS2 (2.812,3 mm²). Nesse caso há dificuldade em relacionar os valores obtidos com as áreas avaliadas, uma vez que estes não seguem um padrão. Porém, a parte mineral é um atributo com características particulares para cada classe de solo (SANTOS et al., 2018), sendo que AS1 e LD, por se situarem na mesma cidade possuem grande proximidade geográfica e mesma classificação, podendo este ser um indício de seus valores semelhantes, sendo que o mesmo se aplica para AS2 e LA, que embora estejam localizados em cidades distintas, ambas são limítrofes e apresentam o mesmo tipo de solo (Latossolo Vermelho).

Figura 9 - Área das zonas central, interna, intermediária, externa e periférica em mm² nos cromatogramas do lixão ativo (LA), lixão desativado (LD), aterro sanitário 1 (AS1) e aterro sanitário 2 (AS2)



Fonte: Autores (2021)

Na zona intermediária (identifica a quantidade de material orgânico) destaca-se AS2 (7.853,1 mm²) seguido de LA (6.202,8 mm²), AS1 (5.513,7 mm²) e LD (4.184,6 mm²). Tais resultados podem ser explicados devido à grande quantidade de matéria orgânica depositada em AS2 e a baixa disponibilidade em LD. Enfatiza-se a importância do levantamento histórico do uso do solo nestes locais, já que a forma de utilização anterior possui influência direta na quantidade de material orgânico do solo, a exemplificar, uma

mata disponibilizaria altos teores de matéria orgânica na superfície (CONAMA, 2009).

No que diz respeito a zona externa (define a atividade enzimática), os resultados mostraram maiores valores para LD (3.729,2 mm²) e AS1 (2.505,1 mm²), seguindo-se com LA (2.337,8 mm²) e AS2 (1.996,1 mm²). Neste caso, os menores valores parecem ser desejáveis, uma vez que quanto menor são esses valores, maior a relação de integração entre matéria orgânica e microrganismos, condição favorável à qualidade do solo (PINHEIRO, 2011). Tal evidência pode ser

constatada ao se comparar com os resultados da zona intermediária (zona orgânica) que são inversamente proporcionais. Os valores observados para esta área são condizentes com o esperado, sendo que AS2 mostra o menor resultado, AS1 possui um valor baixo e LD a maior área, ou seja, o pior valor para esta zona entre os locais avaliados.

A zona periférica (que serve apenas para nomeação e identificação do cromatograma) apresentou os seguintes valores AS1 (4.580,2 mm²), AS2 (4.787,9 mm²), LD (5.071,3 mm²) e LA (6.143,2 mm²). Essa zona mostra-se como diagnóstica, expressando a relação de integração entre as outras zonas, pois no processo de confecção dos cromatogramas quando se interrompe o movimento de capilaridade, retirando o papel filtro do contato direto com a solução do solo, ao se alcançar o raio de 6,0 cm, as cromas que possuem maior integração, continuam a desenvolver este processo de capilaridade, formando um gradiente maior e mais suave.

Considerando-se a área total composta apenas pelas zonas central, interna, intermediária e externa, os aterros sanitários apresentaram maiores áreas de cromatogramas com aproximadamente 13.000,0 mm², enquanto LA e LD

apresentaram os menores valores de áreas com 12.600,2 e 11.528,3 mm², respectivamente. Desta forma, observou-se também através da quantificação da área das zonas, seja individualizada ou em totalidade, a melhor qualidade do solo nos aterros sanitários comparando-se com os lixões, especialmente ao LA.

4 Conclusões

A cromatografia de Pfeiffer mostrou-se uma ferramenta útil para a constatação da ocorrência de passivo ambiental do solo, demonstrando através dos cromatogramas que o aterro sanitário 2 e aterro sanitário 1 apresentaram uma qualidade superior quando comparados ao lixão desativado e principalmente ao lixão ativo.

Ressalta-se que a utilização da cromatografia de Pfeiffer para fins de avaliação da qualidade do solo possibilitaria a redução de custos durante o processo de monitoramento ambiental, permitindo a realização de levantamento prévio e subsidiando a tomada de decisão sobre a localização adequada para instalação de poços de sondagem.

5 Evaluation of Soil Quality in Solid Waste Disposal Sites Using Pfeiffer's Chromatography

Abstract: *The aim of the study was to evaluate the quality of soils destined for solid waste disposal using Pfeiffer Chromatography, in order to diagnose the feasibility of this low-cost tool for environmental monitoring. Soil samples were collected in two landfills (AS1 and AS2) and two dumps (activated - LA and deactivated - LD), at three depths (0-20, 20-40 and 40-60 cm), at distances 1, 5 and 10 m from the slopes of the landfill cells and the central point of deposition in the dumps. The samples were subjected to chromatographic analysis. For the qualitative evaluation, the following parameters were used: color, integration between zones, radiation, biological activity and terminations, to which scores were assigned. The chromatogram zones (central, internal, intermediate, external and peripheral) area quantification was carried out with the ImageJ software. The best soil quality was observed in AS2 with parameters mean scores above 8.0, while LA presented the worst soil quality, with mean scores equal to 1.7. AS2 and AS1 presented the largest chromatograms areas, totaling approximately 13,000 mm², considering the central, internal, intermediate and external zones. It was concluded that there is standardization of chroma related to the sampling sites, with lower soil quality occurring in dumps areas, with the loss of soil quality being detectable via Pfeiffer Chromatography due to the form of waste disposal. The application of this technique proved to be viable for the environmental quality of soils monitoring, since it generates information that allows investigating or confirming the liabilities occurrence.*

Keywords: Soil quality; Environmental monitoring; Solid waste.

6 Referências

BARROS, N. A.; AQUINO, M. D. Quantificação de passivos ambientais gerados por empreendimentos industriais – estudo de caso de correia transportadora de minérios. *In*: XIX

SILUBESA. *Anais...* Recife, Pernambuco, 2020, p.1-13. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento46/TrabalhosCompletoPDF/VI-054.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022. BEZERRA, L. P. **Implantação de Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar: um**

caminho para a transição agroecológica. 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado e em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras, Araras, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9707>. Acesso em: 31 dez. 2020.

BORGES, T. M.; VIMEIRO, G. V.; CATAPRETA, C. A. A. Guia para monitoramento ambiental em aterros sanitários. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 7. **Anais...** Campina Grande, Paraíba, 2016, p. 8. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-083.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.html. Acesso em: 15 nov. 2020.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 420.** 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. Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, p. 81-84. Brasília, 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acs.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciênc. saúde coletiva** [online]. 2012, v.17, n.6, <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141381232012000600014. Acesso em: 10 nov. 2020.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil.** Oficina de Textos, ISSN 978-85-7975-125-7, 2014.

OLIVEIRA, B. O. S.; TUCCI, C. A. F.; JÚNIOR, A. F. N.; SANTOS, A. A. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 593-601, 2016.

PINHEIRO, S. **Cartilha de Saúde do Solo (Cromatografia de Pfeiffer).** Salles Editora, 2011.

Disponível em: <https://pt.slideshare.net/OliverBlanco01/cartilha-da-saude-do-solo-cromatografia-de-pfeiffer>. Acesso em: 23 nov. 2020.

PECCINI, A. **Contabilidade ambiental:** conceito, aplicabilidade e campo de atuação. Rio de Janeiro, 2012.

RIBEIRO, A. V. S.; NERY, I. L. P.; MARIANO, J. S.; MACIEL, B. C. M.; NINA, N. C. Cromatografia de Pfeiffer aplicada a solos amazônicos no Projeto de Assentamento (P.A.) Uatumã, Presidente Figueiredo – AM. *In*: Seminário Internacional de Ciência do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia, 4; Encontro Amazônico da Pós-graduação e Pesquisa em ambiente e Sociedade, 1. Amazônia **Anais...** Manaus, 2016, 8 p. Disponível em: [https://www.even3.com.br/anais/ivsicasa/33532-cromatografia-de-pfeiffer-aplicada-a-solos-amazonicos-no-projeto-de-assentamento-\(pa\)-uatuma-presidente-figueiredo/](https://www.even3.com.br/anais/ivsicasa/33532-cromatografia-de-pfeiffer-aplicada-a-solos-amazonicos-no-projeto-de-assentamento-(pa)-uatuma-presidente-figueiredo/). Acesso em: 20 nov. 2020.

RIVERA, J. R.; PINHEIRO, S. **Cromatografía: Imágenes de Vida y Destrucción Del Suelo.** 21. ed. Cali, Colombia: Feriva S.A, 2011, 252 p.

SANTOS, C. G. Avaliação ambiental preliminar de contaminação em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos: Estudo de caso no estado de Minas Gerais. *In*: Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2, **Anais...** Minas Gerais, 2013, 4p. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/28086/18210>. Acesso em: 23 nov. 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B. CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 28 dez. 2020.

SILVA, C. R. **Análise da efetividade da Política Nacional de Resíduos Sólidos nos municípios do litoral do Paraná, considerando os aspectos socioambientais.** 2018. 160 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/59196/R%20-%20D%20-%20CAROLINE%20RODRIGUES%20DA%20SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 nov. 2021