

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLÓGICAS – CCENT
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – LICENCIATURA

CAROLINE DA SILVA DA CONCEIÇÃO

**ESTUDO DO POTENCIAL DE BIORREMEDIAÇÃO ÓLEOS VEGETAIS
RESIDUAIS EM SOLOS DO CERRADO MARANHENSE ATRAVÉS DE
ATENUAÇÃO NATURAL-BIORREMEDIAÇÃO PASSIVA**

IMPERATRIZ – MA

2024

CAROLINE DA SILVA DA CONCEIÇÃO

**ESTUDO DO POTENCIAL DE BIORREMEDIAÇÃO ÓLEOS VEGETAIS
RESIDUAIS EM SOLOS DO CERRADO MARANHENSE ATRAVÉS DE
ATENUAÇÃO NATURAL-BIORREMEDIAÇÃO PASSIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Ciências Exatas
Naturais e Tecnológicas da Universidade
Estadual da Região Tocantina do
Maranhão – UEMASUL, como pré-
requisito para obtenção do título de
graduação em Ciências Biológicas
Licenciatura.

Orientador(a): Jorge Diniz de Oliveira

IMPERATRIZ – MA

2024

C744e

Conceição, Caroline da Silva da

Estudo do potencial de biorremediação óleos vegetais residuais em solos do cerrado maranhense através de atenuação natural-biorremediação passiva. / Caroline da Silva da Conceição. – Imperatriz, MA, 2024.

31 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2024.

1. Biorremediação. 2. Óleos vegetais. 3. Solos – Cerrado Maranhense. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631.4(812.1)-035.83

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**



CAROLINE DA SILVA DA CONCEIÇÃO

ESTUDO DO POTENCIAL DE BIORREMEDIAÇÃO ÓLEOS VEGETAIS
RESIDUAIS EM SOLOS DO CERRADO MARANHENSE ATRAVÉS DE
ATENUAÇÃO NATURAL-BIORREMEDIAÇÃO PASSIVA

Aprovada em: 22 / 03 / 2024

Banca Examinadora:



Prof(a). Dr(a). Jorge Diniz de Oliveira - Orientador (a)

Doutor em Química

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL



Prof. Dr. Marco Antônio Bandeira Azevedo - 1º Membro

Doutor em Química

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL



Prof. Mestre). Joaquim Paulo de Almeida Junior – 2º Membro

Mestre em Educação

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus sou grata, pela minha vida, por toda força e discernimento para prosseguir nessa caminhada e hoje me permitir está escrevendo essas linhas em agradecimento, a ele toda honra e glória por toda trajetória vivida nesses 5 anos de graduação, sem Deus nada disso seria possível, meu coração transborda felicidade e gratidão por todo amor, cuidado, bondade, sabedoria e perseverança para a realização dessa grande conquista que um dia foi somente um sonho e está se tornando realidade.

A minha família por ser minha base, meu alicerce, por todo amor e apoio, meus pais Gedeão Lopes da Conceição e Francidalva da Silva da Conceição que nunca mediram esforços para que eu realizasse esse sonho que não é somente meu, é nosso, obrigado por serem os melhores pais que eu poderia ter e por sempre me proporcionarem o melhor, pois só nós e Deus sabemos o quanto vocês tiveram que lutar e abrir mão de muitas coisas para me ajudar, obrigado por sonharem e realizarem juntamente comigo. Aos meus irmãos, Gislane, Ana Kaline e Jhonatas por sempre estarem ao meu lado mesmo que de longe, sendo meu apoio e força para continuar, obrigado por serem meu ombro amigo e por acreditarem em mim.

Ao meu professor e orientador Dr. Jorge Diniz de Oliveira por ter me acolhido como filha no laboratório de Química Ambiental desde o meu primeiro período como bolsista permanência e posteriormente me dando a oportunidade de ser pesquisadora. Muito obrigado por todo ensinamento, cuidado, dedicação e paciência para me ensinar tudo que aprendi como pesquisadora e me ajudar em tudo aquilo que eu tive dificuldade em todo esse percurso, costumo dizer que você foi e é como um pai para mim nessa Universidade, um profissional de excelência e um ser humano incrível. Sinto-me agradecida por todo acolhimento comigo, e tenho grande admiração pela pessoa que você é, muito obrigado. Gratidão ao meu namorado Felipe Duarte por sempre estar comigo e me apoiar em tudo que eu precisei, obrigado por me encorajar e acreditar em mim quando nem eu mesmo acreditei, obrigado por ser amigo e parceiro em todas as horas, você foi e é fundamental em minha vida.

Gratidão aqueles que literalmente sempre estiveram ao meu lado e fizeram essa caminhada ser mais leve, meus amigos, Gleice Kely, Renata, Francinete e em especial João Lucas e Graziela (meu trio), obrigado por sempre estarem comigo em todos os trabalhos, aulas, provas e em várias madrugadas, obrigado por dividirem comigo os

choros, alegrias, tantos momentos difíceis e também momentos bons e de felicidades, eu me sinto extremamente feliz em poder dividir esse grande momento com vocês, receber aquilo que tanto lutamos pra ter, e poder olhar pra trás e ver que tudo valeu a pena, meu coração transborda gratidão e felicidade por cada um de vocês, é como aquela velha frase clichê diz, amigos que a universidade me deu e eu levarei pra minha vida.

Obrigado a todos os professores do curso de Ciências Biológicas que fizeram parte dessa caminhada e contribuíram para o meu crescimento e evolução, vocês foram peças fundamentais nesse trajeto, ensinando da melhor forma possível tudo que foi necessário para a conclusão desse curso.

Agradeço a Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão por toda estrutura e apoio para minha permanência até a conclusão da minha graduação.

Enfim, gratidão a todos que de alguma forma contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade.

Meu muito obrigado a todos.

"Cada sonho que você deixa para trás é um pedaço do seu futuro que deixa de existir"

Steve Jobs

RESUMO

No Brasil, uma produção anual de aproximadamente três bilhões de litros de óleo vegetal comestível resulta em apenas 2,5% do óleo residual de cozinha sendo coletado para reutilização, enquanto o restante é descartado de maneira prejudicial, causando consequências ambientais. Isso inclui contaminação do solo e da água, impactando níveis de fauna e flora. O óleo vegetal residual, tanto virgem quanto usado, tem efeitos nocivos, como impermeabilização do solo e contaminação do lençol freático, podendo até liberar gases de efeito estufa como metano. Foi aplicado um tratamento mais um testemunho com três repetições sendo esse realizado com óleo vegetal residual (OVR). Em cada pote hermético foram adicionados 500 g do solo contaminado artificialmente com 12,5 mL (OVR). Adicionalmente, foi colocado acima dos solos contaminados um pote aberto contendo 20 mL da solução de NaOH $0,40 \text{ mol L}^{-1}$, com o objetivo de capturar o CO_2 produzido na remediação. As avaliações da captura de CO_2 foram realizadas nos períodos de 20, 40, 60 e 80 dias de incubação. Dada a demora natural na regeneração do solo, torna-se vital empregar técnicas de remediação, sendo a biorremediação passiva uma abordagem frequentemente utilizada. Neste contexto o presente trabalho pretende avaliar a técnica de biorremediação passiva, fazendo uso de testes *in vitro*, como forma de remediar solos do Cerrado Maranhense contaminados artificialmente com óleo vegetal residual de soja (OVR). A técnica de biorremediação passiva apresentou-se como uma opção eficaz para a degradação do óleo vegetal residual. Nas condições investigadas os resultados apontam que a produção de CO_2 em função do tempo no ponto 1 foi mais eficiente no período de 80 dias, já no ponto 2 o período com maior produção foi o de 60 dias. Sendo assim, pode-se afirmar que a técnica de biorremediação passiva pode ser empregada na presença de solos do Cerrado Maranhense.

Palavras-chave: Biorremediação. Solo. Óleos vegetais.

ABSTRACT

In Brazil, an annual production of approximately three billion liters of edible vegetable oil results in only 2.5% of the residual kitchen oil being collected for reuse, while the remainder is discarded in a harmful manner, causing environmental consequences. This includes soil and water contamination, impacting levels of fauna and flora. Residual vegetable oil, both virgin and used, has harmful effects, such as soil sealing and contamination of the water table, and can even release greenhouse gases like methane. A treatment plus a control with three repetitions were applied, using residual vegetable oil (RVO). In each hermetic pot, 500 g of soil artificially contaminated with 12.5 mL (RVO) was added. Additionally, an open pot containing 20 mL of 0.40 mol L⁻¹ NaOH solution was placed above the contaminated soils to capture the CO₂ produced during remediation. CO₂ capture evaluations were performed at 20, 40, 60, and 80 days of incubation. Given the natural delay in soil regeneration, it is vital to employ remediation techniques, with passive bioremediation being a frequently used approach. In this context, this study aims to evaluate the technique of passive bioremediation, using in vitro tests, to remediate soils from the Maranhense Cerrado artificially contaminated with soybean residual vegetable oil (RVO). The passive bioremediation technique proved to be an effective option for degrading residual vegetable oil. Under the investigated conditions, the results indicate that CO₂ production over time at point 1 was more efficient at 80 days, while at point 2, the period with the highest production was 60 days. Therefore, it can be stated that passive bioremediation can be employed in the presence of Maranhense Cerrado soils.

Key words: Bioremediation. Soil. Vegetable oils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos pontos amostrais.....	18
Figura 2. Armazenamento do solo.....	19

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros físico-químicos do solo em sua composição natural e após contaminação com OVR.....	22
Tabela 2. Captura de CO ₂ (mg/500g) do teste de biorremediação.	24

LISTA DE SIGLAS

ALD – abaixo do limite de detecção

A.T – acidez trocavel

BaCl₂ – Cloreto de Bário

CO₂ – Dióxido de carbono

CTC – Capacidade de troca catiônica

CCENT – Centro de Ciências Exatas Naturais e Tecnológicas

g – gramas

HCl – Ácido clorídrico

H₂O – Água

KCl – Cloreto de potássio

kg – quilogramas

L – litros

MOS – Matéria Orgânica

mL – mililitros

mg – miligramas

NaOH – Hidróxido de sódio

OVR – Óleo vegetal residual

PCZ – Ponto de carga zero

pH – Potencial hidrogênico

SN – Solo natural

SC – Solo contaminado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 O solo	14
2.2 Óleo vegetal de soja	15
2.3 Consequência da contaminação do solo por óleo vegetal	16
2.4 Biorremediação passiva/ atenuação natural	17
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 Geral.....	17
3.2 Específicos	18
4. METODOLOGIA	18
4.1 Coleta e preparação das amostras.....	18
4.2 Determinação dos parâmetros do solo	19
4.2.1 Determinação do teor da matéria orgânica	19
4.2.2 Determinação de pH em água e KCl e pH do ponto de carga zero.....	19
4.2.3 Determinação da acidez trocável	20
4.3 EXPERIMENTO DE BIORREMEDIAÇÃO PASSIVA	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1 Experimento de biorremediação passiva.....	25
6. CONCLUSÃO	26
7. REFERÊNCIAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

No Brasil são produzidos cerca de três bilhões de litros de óleo vegetal comestível por ano. Deste total, apenas 2,5% do óleo vegetal residual ou óleo de cozinha é coletado e reutilizado por empresas ou organizações não governamentais (THODE FILHO et al., 2020). O restante é descartado inadequadamente no ambiente causando grandes consequências ambientais como contaminação de solo e água. Cabe salientar que os solos são também impactados quando recebem óleo vegetal virgem.

De acordo com Thode Filho e colaboradores (2020), quando lançados diretamente no solo, o óleo vegetal residual (OVR) ocupa os espaços que naturalmente são ocupados pela água e pelo ar, provocando impermeabilização, e por conseguinte, aniquilação da fauna e flora ali existente. Segundo Thode e colaboradores (2014), a impermeabilidade do solo impede a germinação das sementes tornando o impróprio para o cultivo.

No solo, o óleo contribui na sua impermeabilidade e contamina o lençol freático, em condições de baixa concentração de oxigênio pode ser degradado e ocorrer a liberação de metano (CH_4), gás do efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global (BALDIN et al., 2009). É importante ainda destacar que ao ser lançado no solo o óleo vegetal residual e /ou óleo vegetal virgem entra em contato direto com a água que se infiltra pelos poros e/ou escoar superficialmente e dependendo das características físico-química do solo, tais como relevo e regime pluviométrico, o óleo pode imigrar e atingir corpos hídricos superficiais e até mesmo lençol freático (SILVA et al., 2007).

Andrade et al., (2010) menciona que os baixos custos envolvidos nas transformações bioquímicas *in-situ*, além da possibilidade de redução ou até mesmo de eliminação total dos contaminantes, são condições que favorecem a atratividade das técnicas de biorremediação. Esses fatores atualmente têm sido considerados como os principais responsáveis pelas vastas aplicações e inovações surgidas na área de remediação de solos mediada por microrganismos.

Desse modo, faz-se importante a utilização de algumas técnicas que permitem reduzir ou mitigar os impactos causados ou mesmo causar recomposição uma vez que, o tempo natural de regeneração do solo é extremamente alto de acordo com Oliveira e Araújo (2011), quanto a escolha da melhor técnica de remediação Bardi (2002), afirma que depende das características do solo, do poluente, contaminantes e das questões

econômicas.

Dentre as técnicas *in situ* a biorremediação passiva ou atenuação natural tem sido frequentemente utilizadas na qual o poluente ou contaminante permanece no local impactado por meio de processos naturais, como biodegradação, ventilação, biossorção e diluição ocorrendo a descontaminação do solo (MULLIGAN; YONG 2004). Neste contexto, o presente trabalho pretende avaliar a técnica de biorremediação natural, fazendo uso de testes *in vitro*, como forma de remediar solos de Cerrado Maranhense contaminados artificialmente com óleo vegetal residual de soja (OVR).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O solo

O solo é a parte superior da superfície terrestre, composta por pequenas partículas de minerais, matéria orgânica, água e ar. Segundo Lepsch (2010) o pedólogo define solos como a coleção de corpos naturais dinâmicos, que contém matéria viva, e resulta da ação do clima e de organismos sobre um material de origem. Sob o ponto de vista geológico, o solo é definido como o material não consolidado e disposto em camadas que se estendem da superfície até a rocha sólida consolidada e formada a partir do intemperismo e desintegração da rocha-mãe (FROTA et al, 2019).

Quanto a sua formação, as rochas da litosfera, expostas à atmosfera, sofrem a ação direta do calor do sol, da umidade das chuvas e do crescimento de organismos. Assim, iniciam-se os processos que resultam em inúmeras modificações na composição química dos seus minerais e aspectos físicos (LEPSCH, 2010). Ainda de acordo com Lepsch (2010) esses processos são chamados de intemperismo ou meteorização, fenômeno responsável pela formação do material semiconsolidado que dará início formação do solo.

De um modo geral, o solo pode ser conceituado como um manto superficial formado por rochas degradada e, eventualmente e, cinzas vulcânicas, em mistura com matéria orgânica em decomposição, contendo, ainda, água e ar em proporções variáveis e organismos vivos (Braga et al, 2002).

Segundo Siqueira Neto (2009) O bioma Cerrado é importante por sua abrangência, uma vez que ocupa aproximadamente um quarto do território nacional. O cerrado brasileiro cobre uma área de aproximadamente 2 milhões de km² (200 milhões de hectares), abrangendo dez estados do Brasil Central. Seus solos são ácidos, deficientes na

maioria em nutrientes e rico em ferro e alumínio (OLIVEIRA, 2005). Os solos do cerrado são caracterizados como ácidos, característica própria desse bioma, apresentando deficiência de alguns nutrientes necessários e com alto teor de alumínio.

De acordo com Klink (2005) em seu artigo descreve que os remanescentes de Cerrado que existem nos dias de hoje desenvolveram-se sobre solos muito antigos, intemperizados, ácidos, depauperados de nutrientes, mas que possuem concentrações elevadas de alumínio. Ainda segundo Klink (2005) o bioma cerrado vem sofrendo grandes transformações que tem causado grandes impactos ambientais incluindo erosão dos solos, o que se torna uma ampla ameaça a biodiversidade.

O solo se constitui em um meio no qual habita uma sociedade intimamente associada, onde plantas e organismos atuam em conjunto, contribuindo para o equilíbrio do ecossistema e, conseqüentemente, alterando as propriedades físicas e químicas dos solos (Alencar, 2023).

2.2 Óleo vegetal de soja

Os óleos vegetais são substâncias gordurosas que são extraídas a partir de plantas, geralmente obtidos das sementes, frutos ou outras partes de plantas oleaginosas. Reda (2007) descreve que os óleos vegetais representam um dos principais produtos extraídos de plantas da atualidade e cerca de dois terços são usados em produtos alimentícios fazendo parte da dieta humana.

Carvalho (2017) afirma que os óleos e gorduras estão entre as principais fontes de energia utilizadas pelo homem. Também conhecidos como lipídios, são formados, principalmente, por átomos de hidrogênio, oxigênio e carbono; outros elementos, como, por exemplo, o fósforo. O óleo vegetal é uma gordura natural extraída de plantas. Os monoinsaturados possuem uma dupla ligação, e os poli-insaturados podem ter de duas a seis duplas ligações (CARVALHO, 2017).

Segundo Carvalho (2017) A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é uma leguminosa pertencente à família Fabaceae, à subfamília das Papilionoidea e do grupo das Faseoleas, originária do atual território do Vietnã, no leste da Ásia. Seu cultivo é conhecido na China à cerca de 5.000 anos. O óleo de soja apresenta cor levemente amarelada, límpida, com odor e sabor suave característico.

A soja, considerada a rainha das leguminosas, dispõe de uma oferta muito grande do óleo, pois quase 90% da produção de óleo no Brasil provém dessa leguminosa

(FERRARI et al, 2005). Santos et al (2022) afirma que com um sistema produtivo tradicionalmente instalado e uma cadeia produtiva bem organizada, a cultura da soja é indicada como a mais eficiente para o fornecimento do óleo como coproduto da oleaginosa.

2.3 Consequência da contaminação do solo por óleo vegetal

É notório que com o crescimento populacional o consumismo tenha tido um grande aumento na sociedade, e esse consumismo tem causado grandes problemas ambientais, visto que o descarte de resíduo acaba sendo na maioria das vezes de forma inadequada. Corrêa (2018) descreve que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a reciclagem têm o objetivo de classificar, orientar e dar o destino ambientalmente correto para esses resíduos, e se possível reintroduzi-los novamente no mercado.

Segundo Lima (2023) o potencial poluidor de águas, o óleo de cozinha usado, quando descartado de forma inadequada, em contato com o solo, o óleo usado o impermeabiliza, impedindo que a água se infiltre, o que acaba por agravar as enchentes, além de atingir lençóis freáticos.

Quando misturado com a matéria orgânica, ocorre entupimento de caixas de gorduras e tubulações, em alguns casos as tubulações necessitam de produtos químicos tóxicos para resolver esse problema. Caso o esgoto originado pela mistura com o óleo, penetre no solo, os lençóis freáticos serão contaminados, resultando em grandes quantidades de água imprópria para uso. (Rodrigues et al, 2022).

Silva (2013) afirma que a legislação ambiental brasileira, em nível federal, no que tange ao óleo oriundo de fritura, é completamente omissa e que na falta de regulamentação e fiscalização, o óleo saturado é descartado, na maioria das vezes, nos ralos de pias ou em terrenos baldios, causando efeitos nocivos, como a poluição do solo e das águas. Partindo dessa premissa, ressalte-se que este tipo de descarte se dá tanto pelo desconhecimento dos malefícios que esta ação pode causar ao meio ambiente, quanto pela ausência de políticas que orientem a população, desenvolvendo ações estratégicas para o reuso desse óleo que é tão prejudicial, tanto para o solo quanto para os lençóis freáticos (NASCIMENTO, 2022).

Segundo Thode filho (2017) quando lançado diretamente no solo, o óleo ocupa os espaços que naturalmente seriam ocupados pela água e pelo ar, provocando a impermeabilização do mesmo. Adicionalmente, a fauna e a flora deste local ficam

impedidas de absorver os nutrientes e acabam morrendo, bem como, as sementes que não conseguem germinar, tornando o solo impróprio para o cultivo.

2.4 Biorremediação passiva/ atenuação natural

A biorremediação é um processo que utiliza organismos vivos, como fungos, bactérias e leveduras a fim de reduzir ou eliminar contaminantes presentes no meio ambiente. Segundo Andrade (2010) os tratamentos são de dois tipos: *ex-situ* realizado fora do local onde ocorreu a contaminação e, por isso, é um tratamento que requer a escavação e a remoção do solo contaminado para outro local, ou *in-situ*, tratamento feito no próprio local da contaminação. Normalmente, essa opção de biorremediação torna o processo mais atrativo e economicamente viável, quando comparado ao tratamento citado anteriormente.

Dentre as diversas técnicas de remediação de solos, existe a chamada Biorremediação passiva ou atenuação natural, essa técnica difere das demais pois ocorre de maneira natural sem a necessidade de adição de microrganismos, uma vez que quem realiza o processo são os organismos já presente na matriz contaminada.

Andrade (2010) afirma que o termo “atenuação natural” tem sido empregado para descrever a remediação passiva de solo que envolve a ocorrência de diversos processos, de origens naturais, como a biodegradação, a volatilização, a dispersão, a diluição e a adsorção, promovidos na subsuperfície. Ainda segundo Andrade (2010) A principal vantagem do processo de atenuação natural é que, mesmo sem o acréscimo de nutrientes no solo ou a adequação de qualquer condição ambiental, a redução do contaminante pode acontecer de maneira eficiente e contínua. Isso ocorre devido, principalmente, ao processo de adaptação natural da microbiota nativa existente no solo impactado.

Em um estudo realizado por Thode filho (2015) onde o objetivo era avaliar a técnica de biorremediação passiva utilizando óleo vegetal virgem, observa-se a eficácia dessa técnica no processo de remoção do óleo vegetal do solo. Thode filho (2015) afirma que a técnica de biorremediação passiva ou atenuação natural mostrou ser uma boa alternativa na descontaminação de ambientes contendo óleos vegetais.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

- Avaliar o potencial da técnica de biorremediação passiva na biodegradação de óleos vegetais residuais em solos do Cerrado Maranhense

3.2 Específicos

- Estimar os parâmetros pH, ponto de carga zero e acidez dos solos investigados;
- Verificar a captura de CO₂ durante a biorremediação;
- Observar o comportamento do CO₂ em função do tempo;
- Quantificar e interpretar os parâmetros do solo;
- Avaliar se a técnica de biorremediação passiva ou atenuação natural é uma boa alternativa para recuperação de solos do Cerrado Maranhense contaminado com óleo vegetal residual.

4. METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido no laboratório de Química Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas-CCENT da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL em ambiente controlado. Nesta pesquisa foram utilizados solos coletados na avenida Pedro Neiva de Santana em dois pontos amostrais com as seguintes coordenadas Ponto 1 Latitude 5°27'43.0''S e Longitude 47°24'48.2''W e Ponto 2 Latitude 5°27'34.4''S e Longitude 47°24'34.6''W (Fig.1).

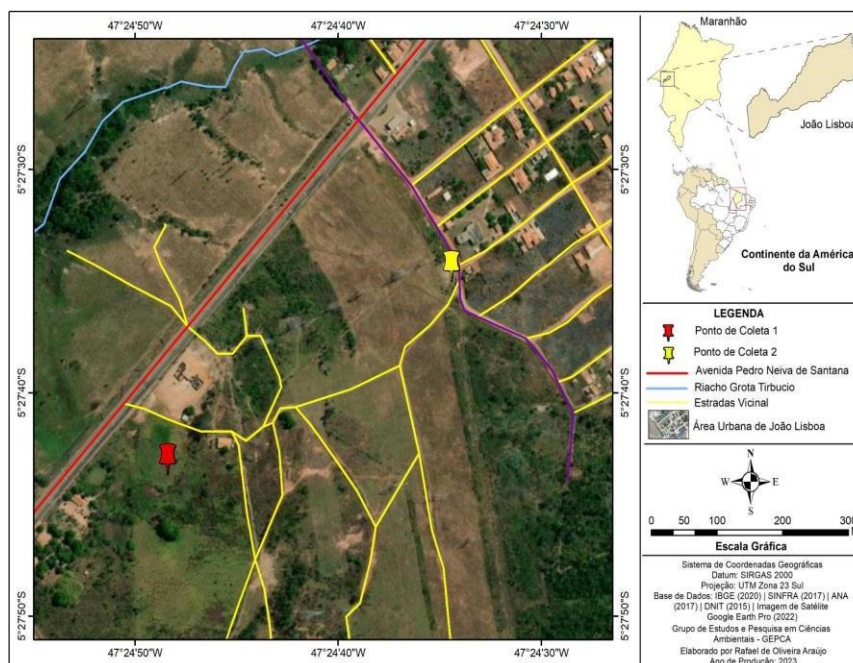


Figura 1. Localização dos pontos amostrais.

Fonte: Araújo, F. O.

4.1 Coleta e preparação das amostras

As amostras foram coletadas com trado em uma profundidade de 20 cm e transportada em sacos plásticos de cor escura para o laboratório. Em seguida os solos foram submetidos ao processo de secagem ao ar livre, macerado, peneirado e armazenado em potes de polipropileno de cor escura até o momento das análises. As amostragens foram realizadas em triplicata.



Figura 2. Armazenamento do solo

4.2 Determinação dos parâmetros do solo

4.2.1 Determinação do teor da matéria orgânica

Em cadinho de porcelana previamente calcinado a 550° C e aferido. As amostras secas e peneiradas a 0,35 mm foram pesadas 2g de cada ponto em triplicata e submetidas à calcinação por 4 horas, em forno mufla a 550° C. Decorrido o tempo de calcinação, o cadinho foi resfriado em dessecador e novamente pesado para se determinar a porcentagem de matéria orgânica do solo. A porcentagem de matéria orgânica foi obtida por meio da diferença entre o massa inicial da amostra e a massa após a calcinação de acordo com a Equação 1 !.

$$\% MOS = \frac{P_1 - P_2}{P} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: % MOS= Teor em porcentagem de matéria orgânica

P_1 = Peso do cadinho + amostra antes da calcinação

P_2 = Peso do cadinho + amostra após a calcinação

P = Massa do solo isenta de umidade

4.2.2 Determinação de pH em água e KCl e pH o ponto de carga zero

As amostras dos solos secas ao ar, e passadas em peneira de 2 mm

homogeneizadas foram submetidas à análise de pH em água e KCl 1 mol L⁻¹. Foram determinados potenciométricamente em suspensão, empregando 10,0 gramas de cada amostra e acrescentados 25 mL de água e solo: solução KCl 1 mol L⁻¹ e solo (relação 1:2,5) e agitando-se por 40 min. Após agitação a suspensão foi deixada em repouso por 1h. Em seguida foram feitas as medições do pH nas amostras segundo Raij et al., (2001). As análises foram realizadas em triplicata. A partir dos valores de pH_{H2O} e pH_{KCL} foram estimados os valores de ΔpH pela equação 2 (MEKARU; UEHARA, 1972). Parâmetros esses que nos permitiu estimar o potencial elétrico da superfície das partículas das biomassas estudadas. Segundo Prado (2003) determinação nos permite determinar também o PCZ utilizando a Equação 3 proposta originalmente por Uehara (1979).

$$\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O} \text{ (Equação 2)}$$

$$pH_{PCZ} = 2pH_{KCl} - pH_{H_2O} \text{ (Equação 3)}$$

4.2.3 Determinação da acidez trocável

Foram pesados 10 gramas de solo em erlenmeyer de 125 mL e adicionado 50 mL de KCl 0,1 mol L⁻¹, a mistura foi agitada manualmente algumas vezes e deixada em repouso durante 30 minutos, em seguida foram filtradas em papel de filtro tipo Whateman n° 42 de 5,5 cm de diâmetro, e adicionada duas porções de 10 mL de KCl. Logo após foi adicionado ao filtrado 6 gotas de fenolftaleína e titulado com solução padrão de NaOH 0,1 mol L⁻¹ até aparecimento de cor rosa (EMBRAPA, 1979). A acidez trocável foi determinada pela Equação 4:

$$\text{Acidez Trocável (cmol kg}^{-1}\text{)} = \frac{V \times N \times 100}{P} \text{ (Equação 4)}$$

Onde: V = volume de NaOH gasto na titulação (mL)

N = normalidade do NaOH (0,1)

P = peso da amostra isenta de umidade

4.3 EXPERIMENTO DE BIORREMEDIAÇÃO PASSIVA.

Foi aplicado um tratamento mais um testemunho com três repetições sendo esse realizado com óleo vegetal residual (OVR). Esse experimento foi baseado na metodologia proposta por Thode Filho e colaboradores (2015), em cada pote hermético foram adicionados 500 g do solo contaminado artificialmente com 12,5 mL (OVR). Adicionalmente, foi colocado acima dos solos contaminados um pote aberto contendo 20 mL da solução de NaOH $0,40 \text{ mol L}^{-1}$, com o objetivo de capturar o CO_2 produzido na remediação. As avaliações da captura de CO_2 foram realizadas nos períodos de 20, 40, 60 e 80 dias de incubação.



Figura 3. Teste de biorremediação

4.3.1 Determinação de CO_2

A determinação de CO_2 foi realizada por titulação do NaOH ($0,4 \text{ mol L}^{-1}$) remanescente em cada frasco retirando-se este do interior da unidade experimental e colocando-se NaOH em um Erlenmeyer de 250 mL, sendo adicionado a esta solução 1 mL de cloreto de bário (BaCl_2) a 50 % e duas a três gotas do indicador de fenolftaleína, em seguida a amostra foi titulada com HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ até viragem da cor (incolor). Após cada titulação, os potes foram devidamente higienizados com a tríplice lavagem com água destilada e novamente recolocados 20 mL de NaOH (0,4 M) e repostos nas unidades experimentais para mais um período de 20 dias de incubação visando a evolução da quantidade de CO_2 produzida pela atividade biológica até a próxima titulação.

A quantidade de HCl (mL) utilizada na titulação para neutralizar o NaOH restante corresponde ao que não reagiu com o CO_2 e, portanto, por diferença obtém-se o CO_2 produzido (Equação.5). A produção de C- CO_2 foi estimada em mg kg^{-1} de solo

seco de acordo com a equação proposta por FERRAZ et al., (2017).

$$C\text{-CO}_2 \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = (B - V) \times M \times 6 \times (V_1/V_2) \text{ (Equação 5)}$$

Onde: B = volume do HCl gasto no branco (mL);

V = volume de HCl gasto na amostra (mL);

M = concentração do HCl (mol L⁻¹);

6 = massa atômica do C (12) dividido pelo número de mols de CO₂ que reagem com o NaOH (2);

V₁ = volume total de NaOH usado na captura do CO₂ (mL);

V₂ = volume de NaOH usado na titulação (mL)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros do solo em sua composição normal e após a contaminação.

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros físico-químicos do solo em sua composição natural e após contaminação com OVR.

Pontos	Parâmetros físico-químicos					
	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ΔpH	PCZ	A.T	MO
SN1	4,15	3,06	-1,09	1,97	0,27	8,54
SN2	4,11	3,16	-0,95	2,22	0,21	3,78
SC1	4,02	3,16	-0,87	2,29	0,39	8,33
SC2	3,51	3,13	-0,37	2,76	1,08	4,09

A.T = Acidez trocável (cmol kg⁻¹); M.O = Matéria orgânica (%), SN= solo natural; SC= solo contaminado.

O pH (potencial hidrogeniônico) indica a quantidade de íons hidrogênio (H⁺) que existe no solo. Segundo Cesar (2010) um solo é ácido quando possui muitos íons H⁺ e poucos íons cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e potássio (K⁺) adsorvidos em seu complexo coloidal de troca. Na gama de medidas disponíveis para caracterizar um solo num dado intervalo de tempo, a medição do pH (potencial de íões H⁺) é, sem dúvida, um dos métodos mais amplamente utilizados (GASTALHO et. al, 2009).

A análise da Tabela 1 revela que os valores do pH em água foram maiores que os valores do pH em KCl, segundo Shinzinato et al., (2015) isso é um indicativo de Cl⁻ deslocou menor quantidade de OH⁻ em relação H⁺ deslocado pelo K⁺. Os valores do pH em água estiveram entre 3,51 a 4,15 sendo o solo considerado ácido, segundo classificação

proposta por Gastalho et. al (2009).

O ΔpH ($\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) relaciona-se com o balanço de cargas elétricas no solo. Quando $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > \text{pH}_{\text{KCl}}$ predominam cargas negativas, quando $\text{pH}_{\text{KCl}} > \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ predominam cargas positivas, mas quando o $\text{pH}_{\text{KCl}} = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ o número de cargas negativas e positivas são iguais (ponto de carga zero, ou PCZ). Um valor de $\Delta\text{pH} > 0$ indica que a capacidade de troca catiônica é mais alta do que a capacidade de troca aniônica. Os valores ΔpH são utilizados para se obter uma estimativa da carga líquida do solo.

Os valores ΔpH (Tab.1) encontrado para o solo investigado indicam maior ocorrência de carga líquida negativa indicando que esse solo tandem a reter cátions. Porém, em conformidade com a bibliografia, tem-se que o solo apresenta deficiência em sua capacidade de reter cátions na forma trocável por seu baixo valor no CTC, logo o solo irá reter cátions, porém não com tanta eficiência (EMBRAPA, 2011).

O ponto de carga zero é o ponto em que o pH se equilibra com cargas negativas e positivas iguais, ou seja, nulas. Para Fontes et al (2001). Entre os extremos de carga positiva e negativa há um ponto em que a carga é zero ou pela ausência de cargas ou pela presença de quantidades iguais de carga positiva e negativa. Esse ponto recebe a denominação genérica de ponto de carga zero (PCZ). De acordo com os resultados apresentados na tabela 1, o ponto de carga zero desses solos está determinado entre o pH 1,97 e 2,76.

De acordo com Teixeira (2017) o sinal e a magnitude da carga de superfície do solo serão função da diferença entre o pH do solo e o PCZ: se o pH do solo for superior ao PCZ, o solo estará carregado negativamente, apresentando, então, capacidade de troca catiônica (CTC). Se o pH for menor que o PCZ, o solo terá carga positiva e apresentará capacidade de troca aniônica (CTA). De acordo com a caracterização do solo analisado o pH_{PCZ} é inferior ao $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ do solo e por tanto está carregado negativamente, o que corrobora com os resultados do ΔpH negativo.

De acordo com Camargos (2005) acidez trocável refere-se ao alumínio e hidrogênio trocáveis e adsorvidos nas superfícies dos coloides minerais e orgânicos, por forças eletrostáticas. Segundo FAGERIA (1999) a acidez do solo é medida como os teores de Al^{3+} e hidrogênio trocáveis do solo, mas, na prática, a acidez do solo é um complexo de vários fatores, em especial da deficiência e da toxicidade dos nutrientes e/ou da baixa atividade dos microrganismos benéficos. Al^{3+} no solo acima de 0,5 cmol pode ser prejudicial (SOBRAL 2015). Na Tabela 1 percebe-se que os valores de acidez trocável dos solos analisados em sua composição natural variaram entre 0,27 e 0,21 esses resultados podem indicar que o solo possui uma alta quantidade de Al^{3+} .

A matéria orgânica é um componente importante do solo, afetando diversos processos físicos, químicos e biológicos e, por meio desses, desempenhando importantes funções (LEITE, 2004). Ainda segundo Leite (2004). O papel da matéria orgânica é também relevante na formação de agregados estáveis influenciando diretamente a estrutura do solo e, portanto, a infiltração de água, capacidade de retenção de água, aeração e resistência ao crescimento de raízes. Os resultados da tabela 1 indicam que o teor de matéria orgânica no primeiro ponto do solo analisado é relativamente alto pois apresenta característica argilosa com valor de 8,54%. Por outro lado, no segundo ponto o teor de material orgânico no solo é inferior ao primeiro ponto com valor de 3,78% devido a sua característica mais arenosa.

5.1 Experimento de biorremediação passiva.

A biorremediação envolve a utilização de microrganismos, de ocorrência natural (nativos) ou cultivados, para degradar ou imobilizar contaminantes em águas subterrâneas e em solos. Neste caso, geralmente, os microrganismos utilizados são bactérias, fungos filamentosos e leveduras (ANDRADE et al., 2010). De acordo com Andrade et al., (2010) O termo “atenuação natural” tem sido empregado para descrever a remediação passiva de solo que envolve a ocorrência de diversos processos, de origens naturais, como a biodegradação, a volatilização, a dispersão, a diluição e a adsorção, promovidos na subsuperfície.

A tabela 2 apresenta os valores do teste de biorremediação passiva dos pontos 1 e 2.

Tabela 2. Captura de CO₂ (mg/500g) do teste de biorremediação.

Captura de CO ₂ (mg/500g)	Tempo (Dias)			
	20	40	60	80
P1	0,48	0,54	4,50	32,56
P2	ALD	13,50	14,10	4,98

ALD= Abaixo do limite de detecção

Os valores de CO₂ emitidos no processo de biorremediação estão representados na Tabela 2. Verifica-se que após o período de 20 dias houve uma produção de 0,48 mg kg⁻¹ de CO₂ no ponto 1, no entanto no ponto 2 não foi possível estimar a quantidade de CO₂ uma vez que, o valor obtido ficou abaixo do limite de detecção do método. Após os 40 dias, no primeiro ponto registou-se 0,54mg kg⁻¹ de produção de CO₂

aumentando 12,5 % em relação ao teste de 20 dias, e no ponto 2 foi registrado 13,5 mg kg⁻¹ de CO₂ produzido.

Passados os 60 dias a captura de CO₂ foi de 4,5 mg kg⁻¹ (P 1), totalizando um aumento de 88% de captura de CO₂, e 14,1 mg kg⁻¹ no ponto 2 registrando um aumento de 4,25 % de CO₂ capturado em relação ao teste de 40 dias. No quarto período de análise (80 dias) constata-se um valor de 32,56 mg kg⁻¹ de CO₂ no ponto 1 o que confere um aumento de 86 % de captação de CO₂, em relação ao tempo anterior (60 dias), no ponto 2, o teste de 80 dias mostrou uma queda na produção de CO₂ totalizando um valor de 4,98 mg kg⁻¹ demonstrando 64,68 % de diminuição da captura de CO₂.

É possível observar que em todos os tempos (dias) houve a produção de CO₂ durante os períodos de incubação do solo contaminado, e que o ponto 1 apresentou maior percentual de aumento de CO₂, isso pode ser atribuído a característica do solo. Em relação ao comportamento da produção de CO₂ em função do tempo, infere-se que o melhor tempo para biodegradação do contaminante em cada ponto foi o período de 60 a 80 dias. Pressupõe-se que os microrganismos presentes no solo participaram ativamente do processo de degradação do poluente utilizando o oxigênio presente no pote hermeticamente fechado. De acordo com Andrade et al., (2010) na “biorremediação aeróbica”, que requer um meio oxidante, o oxigênio atua como receptor de elétrons e os contaminantes são utilizados pelos microrganismos como fontes de carbono (doador de elétrons), necessárias para manter as suas funções metabólicas, incluindo o crescimento e a reprodução.

Observa-se que o primeiro ponto apresentou uma maior produção de CO₂ no período de 80 dias, podendo ter sido influenciado pela característica do solo, por ser mais argiloso e por apresentar uma maior quantidade de material orgânico, o que confere condições necessárias para que os microrganismos desempenhem suas funções e consuma o poluente. Em contrapartida, o segundo ponto mostrou uma queda na produção de CO₂ no período de 80 dias, presume-se que pela característica mais arenosa do solo e pelo baixo teor de matéria orgânica, após os decorridos 60 dias a quantidade de oxigênio presente no pote fechado tenha diminuído em decorrência do consumo dos microrganismos aeróbicos. Corroborando com um estudo realizado por Thode filho (2015) em que os resultados mostraram que os microorganismos presentes no solo consumiram o oxigênio e biodegradaram o poluente na matriz contaminada. Oliveros (2008), afirma que a emissão de CO₂ do solo é o produto da atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), da concentração de CO₂ previamente existente no solo e da respiração das raízes das plantas.

6. CONCLUSÃO

As análises do solo após a contaminação por óleo vegetal residual não demonstraram alterações consideráveis em seus parâmetros físico-químico quando comparados com os parâmetros físicoquímicos do o solo natural.

A técnica de biorremediação passiva apresentou-se como uma opção eficaz para a degradação do óleo vegetal residual de soja, nos solos investigados nesse trabalho. Além disso, é uma alternativa sustentável pois utiliza de processos biológicos naturais para remover e degradar poluentes diminuindo os impactos ambientais. Com base nos dados apresentados na Tabela 2 sobre a produção de CO₂ durante o processo de biorremediação do solo contaminado, é possível concluir que houve uma variação significativa na quantidade de CO₂ produzido ao longo do tempo e entre os pontos analisados.

Nas condições investigadas os resultados apontam que a produção de CO₂ em função do tempo no ponto 1 foi mais eficiente no período de 80 dias onde a taxa de biodegradação do poluente foi máxima, já no ponto 2 o período em que houve a maior taxa de degradação foi o de 60 dias, após esse período a taxa de produção do dióxido de carbono diminuiu provavelmente pelo consumo dos microrganismos aeróbicos presente no solo. Sendo assim, pode-se afirmar que a técnica de biorremediação passiva pode ser empregada na presença de óleos em solos do Cerrado Maranhense.

Os resultados indicam que a biorremediação aeróbica foi eficaz na degradação do contaminante no solo contaminado, sendo o ponto 1 mais eficiente devido às suas características favoráveis para a atividade microbiana, enquanto o ponto 2 apresentou uma eficiência menor, possivelmente devido às suas condições menos favoráveis.

7. REFERÊNCIAS

- ALENCAR, B.O. A biologia do solo e sua relação com as prioridades físicas e químicas dos solos tropicais / Beatriz Oliveira de Alencar; orientador Alcides Gatto. – Brasília, 2023. 66 p.
- ANDRADE, et al. BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS. Ecl. Quím., São Paulo, v. 35, n. 3, p. 17-43, 2010.
- BAIRD, C. Química Ambiental. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.
- CAMARGOS, Sônia Lúcia. Acidez do solo e calagem (reação do solo). Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá-MT, 2005.
- CARVALHO, A.C.O. Características físico-químicas de óleos vegetais comestíveis puros e adulterados. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes/RJ, 2017.
- CORRÊA, L.P.; GUIMARÃES, V.N.; HESPANHOL, L.I.; SILVA, J.V. Impacto ambiental causado pelo descarte de óleo: estudo do destino que é dado para o óleo de cozinha usado pelos moradores de um condomínio residencial em Campos dos Goytacazes – RJ. R. bras. Planej. Desenv., Curitiba, v. 7, n. 3, Edição Especial Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, p. 341-352, ago. 2018.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 267 p.
- EMBRAPA AGROENERGIA. Estudo prospectivo de óleos vegetais: o caso da Embrapa Agroenergia / Ana Cristina dos Santos ... [et al]. – Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2022. PDF (107 p.) : il. color – (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439 ; 41).
- FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 92).
- Ferrari, et al. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. Quim. Nova, vol. 28, no. 1, p. 19-23, 2005.
- FERRAZ, T. D.; ALVES, R. M.; PAULA, S. G.; BRITO, R. M. S.; GUIMARÃES, R. S.; LACERDA, D. R.; MEGDA, M. X. V. Uso da respirometria na quantificação da

atividade microbiana em diferentes teores de umidade no solo.: 11° FEPEG., 2017, Montes Claros/MG.

Fontes, et al. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 3, p. 627-646, jul./set. 2001.

Frota, E.B.; Vasconcelos, N.M.S. *Química ambiental*. UAB/UECE. Fortaleza: 2. ed., 2019.

GASTALHO, Carlos et al. Determinação do pH e acidez de uma amostra de solo. Universidade de Coimbra Faculdade de Farmácia. 20 e 27 de Novembro de 2009.

KLINK, C. A; MACHADO, R.B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, Volume 1, Nº 1, Julho 2005.

LEPSCH, Igo F. *Formação e conservação dos solos*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, M.A.S. Implantação de lei municipal: descarte adequado de óleo de cozinha usado no município de Santa Cruz do Escalvado – MG e criação do projeto bolham de sabão. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, v. 4, n. 2, 2023.

MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. *Soil Science Society America Proceedings*, v. 36, p. 296-300, 1972.

MULLIGAN, C. N.; YONG, R. N. Natural attenuation of contaminated soil. *Environmental International*, Oxford, v. 30, n. 4, p. 587-601, 2004.

Manual de métodos de análise de solo. Paulo César Teixeira et al., editores técnicos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

Matéria orgânica do solo. Luiz Fernando Carvalho Leite. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004.

NETO, et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

NASCIMENTO, L.F.C; LIMA, F.S. O reuso do óleo de cozinha enquanto estratégia sustentável para o desenvolvimento local. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 27173-27192, abr. 2022.

OLIVEIRA, et al. Considerações sobre acidez dos solos de cerrado. *Revista Eletrônica Montes Belos*, Goiás, ISSN 1808-8597, v. 1, n. 1, p. 01-12, ago. 2005.

OLIVEIRA, A. C. C.; ARAÚJO, F. F. Biorremediação de solo contaminado por óleo vegetal utilizando a bioaugmentação com *Bacillus subtilis*. *Colloquium Exactarum*, Presidente Prudente, v. 3, n. 1, p. 22-27, 2011.

- OLIVEIRA, Itamar Pereira de et al. Considerações sobre acidez dos solos do cerrado. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, Goiás, ISSN 1808-8597, v. 1, n. 1, p. 01-12, ago. 2005.
- OLIVEROS, L.F.C. Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul. 2008. 80 f. Dissertação- Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria, RS, 2008.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- REDA, S.Y; CANEIRO, P.I.B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. Revista Analytica, Fevereiro/Março 2007, Nº 27.
- RODRIGUES, G.O et al. Impacto do descarte correto do óleo de cozinha: uso da dinâmica de sistemas para avaliação. Revista Prociênci@s. Universidade Federal de Pelotas, v. 5, n. 1, julho, 2022.
- SHINZINATO, M. C.; ANDRADE, V. S.; MARTINS, J. V.; SANTOS, M. M. A.; RIBEIRO, V. T.; CARVALHO, F. M. S. Efeito da adição da lama vermelha nas propriedades eletroquímicas e de adsorção de um lato solo vermelho. Revista do Instituto Geológico, v. 36, n. 1, p. 51-65, 2015.
- SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Use of stillage and its impact on soil properties and groundwater. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.
- SOBRAL, Lafayette Franco et al. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.
- THODE FILHO, S.; COSTA, A. P. S.; RODRIGUES, I.; SENA, M. F. M.; SILVA, E. R. Bioproducts Production from Vegetable Oil Residual: Candle, Chalk and Modelling of Mass. Revista Eletrônica e Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, p. 14-18, 2014.
- THEODO FILHO, S.; MARQUES CALDERARI, M. R. C.; PEREZ, D. V.; PAIVA, J. L.; SOUZA, P. S. A.; CERQUEIRA, A. A. Efeitos associados ao descarte inadequado do óleo vegetal residual nas propriedades físico-químicas do solo. Natural Resources, v. 10, n. 3, p. 25-37, 2020.
- THODE FILHO, Sérgio. Avaliação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de óleos vegetais residuais em solos brasileiros. 2017. 153 f. : il.

UEHARA, G. Mineralo-chemical properties of oxisols. In: International Soil Classification Workshop, 2, Malaysia, 1978. Bangkok, Soil Survey Division, Land Development Department, p. 45-60.