



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

JUCELINO DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DA CULTURA DA ALFACE (*Lactuca sativa* L.) COMO
PARÂMETRO DE COMPROVAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE
BIORREMEDIAÇÃO LANDFARMING**

**CAMPINA GRANDE - PB
2022**

JUCELINO DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DA CULTURA DA ALFACE (*Lactuca sativa L.*) COMO
PARÂMETRO DE COMPROVAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE
BIORREMEDIAÇÃO LANDFARMING**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo),
apresentado a Coordenação do Curso de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Área de concentração: Meio Ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima

Coorientador: Dr. José Carlos Aguiar da Silva (Embrapa Algodão)

**CAMPINA GRANDE - PB
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S237u Santos, Jucelino dos.

Utilização da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) como parâmetro de comprovação da aplicação da técnica de biorremediação landfarming [manuscrito] / Jucelino dos Santos. - 2022.

18 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Biorremediação. 2. Resíduos sólidos. I. Título

21. ed. CDD 628.1

JUCELINO DOS SANTOS

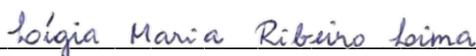
UTILIZAÇÃO DA CULTURA DA ALFACE (*Lactuca sativa* L.) COMO PARÂMETRO
DE COMPROVAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE BIORREMEDIAÇÃO
LANDFARMING

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo),
apresentado a Coordenação do Curso de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

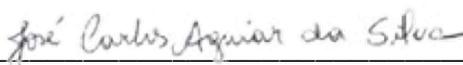
Área de concentração: Meio Ambiente.

Aprovada em: 22/07/2022.

BANCA EXAMINADORA



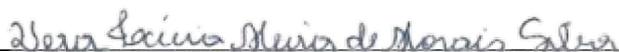
Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (DESA-UEPB)



Dr. José Carlos Aguiar da Silva (Coorientador)
(Embrapa Algodão)



Dra. Neyliane Costa de Souza (Membro Interno-DESA)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Dra. Vera Lúcia Meira de Morais Silva (Membro Externo-DQ)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais, por essa e todas as
minhas conquistas, DEDICO.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	06
2 REFERENCIAL TEÓRICO	07
2.1 Remoção de contaminantes de corpos aquáticos e o processo de adsorção	07
2.2 Contaminantes do solo e técnicas de remoção desses contaminantes	08
2.3 Biorremediação e a técnica landfarming	08
2.4 Cultivo da Alface (Lactuca sativa L.) como parâmetro de comprovação da técnica Landfarming	09
3 METODOLOGIA	10
3.1 Localização da área experimental e análises	10
3.2 Material	10
3.3 Biorreatores	10
3.4 Caracterização do solo	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1 Análise vegetativa da alface	12
4.2 Análise química das alfaces	14
5 CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS	15

UTILIZAÇÃO DA CULTURA DA ALFACE (*Lactuca sativa L.*) COMO PARÂMETRO DE COMPROVAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE BIORREMEDIAÇÃO LANDFARMING

Jucelino dos Santos

RESUMO

O meio ambiente vem sofrendo grandes problemas que afetam sua qualidade. A poluição das reservas de água, o desmatamento desordenado, as queimadas em demasia e o mau uso dos solos causam cada vez mais a perda de suas características essenciais para a sobrevivência da vida na terra. O rejeito de um processo de adsorção de contaminante derivado do petróleo é a biomassa vegetal, utilizada como adsorvente, com alto índice do combustível adsorvido em sua estrutura sólida. Esse rejeito descartado no solo pode ser removido ou mitigado por meio da técnica de biorremediação. A biorremediação é uma técnica de descontaminação de ambientes contaminados que se utiliza de organismos vivos, plantas ou microrganismos (bactérias e fungos), com a finalidade de atenuação ou recuperação de determinados contaminantes presentes no meio ambiente. Esse trabalho objetivou utilizar a alface (*Lactuca sativa L.*) como parâmetro de comprovação da eficácia da técnica de biorremediação *Landfarming* na recuperação de um solo contaminado com gasolina. Foi implantado um experimento com a cultura da alface, em solo biorremediado e não biorremediado, simulando situação real de campo, com monitoramento das variáveis temperatura, umidade e pH, no período de crescimento das plantas (35 dias), seguido da realização de análises de nutrientes nas plantas cultivadas nesses dois tipos de solos. Foi possível observar que as plantas se mantiveram em todo seu ciclo com aspectos saudáveis, demonstrando que o solo teve sua biorremediação bem executada, tornando o mesmo propício para utilização no plantio. Não ocorrendo, visualmente, diferença entre as mudas do solo biorremediado com as do solo coletado em ambiente natural. Os resultados das análises para macronutrientes foram dentro da normalidade. Porém, para metais pesados as amostras da alface analisadas, tanto no cultivo em solo natural (UEPB) quanto no solo biorremediado apresentaram níveis acima dos padrões determinados pela ANVISA. Sendo assim, essas plantas não são recomendadas para alimentação humana devido esses altos níveis de metais existentes.

Palavras-chave: Solo contaminado. Biorremediação *Landfarming*. Cultura da alface.

ABSTRACT

The environment has been undergoing major problems that affect its quality. Pollution of water reserves, disordered deforestation, too much burning and misuse of soils increasingly causes the loss of their essential characteristics for the survival of life on earth. The tailings of a contaminant adsorption process derived from petroleum is vegetable biomass, used as an adsorbent, with a high index of fuel adsorbed in its solid structure. This discarded soil tailings can be removed or mitigated through the bioremediation technique. Bioremediation is a technique of decontamination of contaminated environments that uses living organisms, plants or microorganisms

(bacteria and fungi), with the purpose of attenuation or recovery of certain contaminants present in the environment. This work aimed to use lettuce (*Lactuca sativa* L.) as a parameter of proof of the effectiveness of the Landfarming bioremediation technique in the recovery of a soil contaminated with gasoline. An experiment was implemented with the culture of lettuce, in bioremediated and non - bioremediated soil, simulating real field situation, with monitoring of temperature, humidity and pH variables, during the growth period of plants (35 days), followed by the realization of analyzes Nutrients in plants grown in these two types of soils. It was observed that the plants remained in their entire cycle with healthy aspects, showing that the soil had its bioremediation well performed, making the same conducive to use in planting. Not visually, the difference between the seedlings of the bioremediated soil with those of the soil collected in a natural environment. The results of the analyzes for macronutrients were within normality. However, for heavy metals, the analyzed lettuce samples, both in natural soil cultivation (UEPB) and in the bioremediated soil had levels above the standards determined by ANVISA. Thus, these plants are not recommended for human food due to these high levels of existing metals

Keywords: Contaminated soil. Landfarming Bioremediation. Lettuce culture.

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente vem sofrendo grandes problemas que afetam sua qualidade. A poluição das reservas de água, o desmatamento desordenado, as queimadas em demasia e o mau uso dos solos que perdem sua fertilidade comprometendo sua capacidade produtiva, ocasionando até a desertificação de grandes regiões e das águas, que cada vez mais perdem suas características essenciais para a sobrevivência da vida na terra. Inúmeras situações são as causadoras desses problemas. A forma de utilização dos recursos naturais, a deficiência na preservação e monitoramento das reservas e a falta de conscientização na aplicabilidade das leis ambientais estão entre eles. Os rejeitos industriais dos mais diversos tipos são descartados de forma inadequada, ocasionando a contaminação dos solos e dos mananciais. Na área acadêmica, os rejeitos de pesquisas também causam preocupações e a busca por tecnologias que minimizem esses efeitos nocivos são de muita importância não só na academia, mas também para o meio ambiente.

Ao se mencionar a terminologia “resíduos sólidos” remete-se a uma imagem de lixo doméstico, ou no máximo, de lixo em estado sólido, quer seja comercial ou industrial. Na verdade, na definição de resíduos sólidos são englobados muito mais do que esses tipos de “lixo”. Da definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o termo “resíduos sólidos” substitui a palavra “lixo”; e das definições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) aparece a palavra “rejeitos” para definição do resíduo sólido que não se pode mais reaproveitar, reusar ou reinserir de qualquer forma no ciclo produtivo ou nas atividades de consumo e produção (BARROS, 2014).

Em países desenvolvidos, como os Estados Unidos, Canadá e vários países da Europa, a técnica bioquímica de remediação vem sendo amplamente utilizada em trabalhos que se baseiam, por exemplo, no tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. Porém, ao contrário do que se tem notado nesses países, no Brasil, os projetos de biorremediação ainda estão no campo da teoria, com

poucos casos práticos, embora exista uma probabilidade real de expansão (ANDRADE et al. 2010).

A biorremediação é uma técnica de descontaminação de ambientes contaminados que se utiliza de organismos vivos, plantas ou microrganismos (bactérias e fungos), com a finalidade de atenuação ou recuperação de determinados contaminantes presentes no meio ambiente. Para que haja eficiência nesse processo, alguns fatores tornam-se condicionantes como, temperatura, presença de oxigênio, nutrientes e potencial hidrogeniônico (pH) (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016).

No âmbito da biorremediação, uma das aplicações que tem se mostrado mais evidenciada é a relacionada ao tratamento de solos contaminados por petróleo e seus derivados. Os hidrocarbonetos de petróleo têm uma origem natural, de modo que, conseqüentemente, muitos microrganismos têm uma habilidade natural de degradá-los (MENEZES et al., 2007). Os microrganismos presentes no solo são capazes de degradar os contaminantes a substâncias inofensivas que não são prejudiciais para o meio ambiente, tais como o dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O) e biomassa celular (MASHI, 2013).

Entre as opções biotecnológicas, o processo de biorremediação *Landfarming* apresenta um destaque considerável em função do baixo custo operacional e disponibilidade de tratamento de grandes volumes de resíduos oleosos (SILVA, 2009).

A *Landfarming* é uma das tecnologias de remediação que consiste na aplicação do resíduo na superfície do solo para biodegradação microbiana, essa técnica segue as condições exigíveis para o tratamento de solo com resíduos sólidos contaminados suscetíveis a degradação, descritas pela ABNT – 1997 - NBR 13894 Tratamento no Solo (*Landfarming*). Esse processo apresenta baixos custos de operação para tratamento em grande escala e não precisa de muita manutenção (ABNT, 1997).

A alface (*Lactuca sativa L.*) é uma das hortaliças mais difundidas e consumidas no Brasil, tendo grande importância na economia do país e na alimentação da população (KIEHL, 1999; SMITH e HADLEY, 1989; SOUZA, 2005).

Objetivou-se com esse trabalho utilizar o cultivo da alface (*Lactuca sativa L.*) como parâmetro de comprovação que mostre a eficácia da técnica de biorremediação *Landfarming* na recuperação do solo contaminado com gasolina, pois existe a necessidade de fornecer um destino e utilização a esse solo recuperado, sem causar impactos ambientais ao ambiente de descarte.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Remoção de contaminantes de corpos aquáticos e o processo de adsorção

Nos últimos anos foram desenvolvidas pesquisas nas universidades, em escala de laboratório, com o objetivo de utilizar técnicas como adsorção para purificação de águas contaminadas com derivados de petróleo utilizando biomassa nativa de suas regiões de estudo. O rejeito do processo de adsorção é a biomassa adsorvente com alto índice de contaminação, em função do óleo adsorvido retido em sua estrutura sólida.

A adsorção é uma operação de transferência de massa de uma fase fluida para uma fase sólida, esse fenômeno ocorre na superfície do sólido. Quanto maior a superfície de contato, mais favorável é o processo de adsorção (RUTHVEN, 1984).

Os principais elementos da adsorção são o fluido, a superfície (normalmente um sólido poroso) e os componentes retidos pela superfície. O adsorvente é o sólido no qual ocorrerá a adsorção; o fluido em contato com o adsorvente é chamado de

adsortivo, que pode ser uma fase gasosa ou uma solução líquida e adsorbato é a fase constituída pelos componentes retidos pelo adsorvente (NASCIMENTO et al., 2019).

As primeiras aplicações industriais do processo de adsorção aconteceram durante as Guerras, na década de 1920, tendo sido utilizado para a remoção de álcool e benzeno de correntes gasosas (desenvolvido pela Bayer AG, Alemanha) e para a recuperação de etano e hidrocarbonetos pesados do gás natural (desenvolvido pela Union Carbide Corporation, EUA) (PUPIM; SCHEER, 2005).

2.2 Contaminantes do solo e técnicas de remoção desses contaminantes

Conforme Rizzo et al. (2007) a contaminação de solos pela introdução de óleo no meio ambiente não se constitui em uma novidade, ao contrário, há registros desse tipo de poluição desde 1754. No entanto, foi a partir da década de 1960 que as atenções se voltaram para essa realidade e várias técnicas de tratamento passaram a ser adotadas.

As diversas atividades da indústria do petróleo, tais como, perfuração, produção, transporte, processamento e distribuição, geram consideráveis quantidades de resíduos sólidos, contendo diversas classes de hidrocarbonetos, podendo acarretar sérios problemas ambientais (FORMIGHIERI; JERONIMO, 2017).

Segundo a Resolução Nº 001/86 do CONAMA, impacto ambiental é definido como a alteração das propriedades físico-químicas e biológicas do meio. O tratamento desses resíduos é essencial para promover uma gestão sustentável de exploração e aproveitamento dos recursos minerais.

De acordo com Silva (2009) as alternativas de tratamento para resíduos contaminados com derivados do petróleo, são variadas, incluindo processos físico-químicos e biológicos, com objetivo de remover poluentes orgânicos a concentrações que sejam indetectáveis ou, se detectáveis, a concentrações inferiores aos limites estabelecidos como seguros ou aceitáveis pelas legislações.

A necessidade de realizar um tratamento do rejeito gerado do processo de adsorção de gasolina em biomassa natural, por meio da técnica de biorremediação, surgiu da necessidade de reduzir ou neutralizar as possíveis implicações ambientais que poderiam ser causadas com o descarte desse rejeito no solo em lixões ainda existentes em algumas cidades do Brasil e também em aterros sanitários.

2.3 Biorremediação e a técnica Landfarming

Biorremediação é um processo no qual os organismos vivos, normalmente plantas ou microrganismos, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir (remediar) poluentes no ambiente. Este processo biotecnológico de remediação tem sido intensamente pesquisado e recomendado pela comunidade científica atual como uma alternativa viável para o tratamento de ambientes contaminados, tais como águas superficiais, subterrâneas e solos, além de resíduos e efluentes industriais em aterro de contenção (GAYLARD et al., 2005).

Os processos biológicos como biorremediação apresentam variações quanto ao tipo de tratamento, podendo este ser *in situ* quando realizados no local e *ex situ*, quando realizados fora do local contaminado (GAYLARDE et al., 2005). Ambos envolvem procedimentos que podem ser aplicados no tratamento de superfície ou de subsuperfícies e dependem de vários aspectos como a distribuição heterogênea dos rejeitos, a concentração do contaminante, a toxicidade e a persistência do contaminante no local, bem como as condições favoráveis ao crescimento dos

microrganismos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Após a escolha do tipo de tratamento, faz-se a escolha da técnica mais adequada.

O *Landfarming* é uma técnica em que o resíduo oleoso é incorporado ao solo, sob condições controladas, para remover a degradação e imobilização dos contaminantes perigosos presentes pela microbiota do solo. O resíduo é aplicado à superfície de uma área e misturado ao solo por meio de equipamentos convencionais, como tratores equipados com arados e/ou grades (*in situ*). O solo do local deve estar contido em uma célula devidamente impermeabilizada, de forma que não ocorra contaminação do lençol freático. Essa técnica é apropriada para tratamento do óleo não passível de recuperação contendo materiais absorventes impregnados (palha, serragem e turfa) e as emulsões água em óleo (CETESB, 2013).

A remoção biológica de produtos petrolíferos por meio de *Landfarming* tem sido aplicada comercialmente em larga escala com relativo sucesso. A tecnologia tem sido amplamente utilizada devido à sua simplicidade e custo-benefício. Os mecanismos dominantes de remoção de poluentes envolvidos no *Landfarming* são a volatilização de compostos voláteis de baixo peso molecular durante os primeiros dias de contaminação ou tratamento, biodegradação e adsorção (MAILA; CLOETE, 2004).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), a técnica *Landfarming* consiste em dispor o resíduo na camada reativa do solo, de forma que a microbiota autóctone atue como agente de biodegradação de hidrocarbonetos (TOMASONI et al., 2019).

2.4 Cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) como parâmetro de comprovação da técnica *Landfarming*

A alface é uma das culturas mais populares, plantada e consumida em todo o território brasileiro. Os vários cultivares desta hortaliça adaptam-se bem à nossa diversidade de clima. O manejo da umidade ao longo do período de crescimento é um fator crítico para a boa produção com qualidade. Mesmo em períodos relativamente curtos de umidade inadequada, pode afetar a cultura. Durante a germinação, são exigidas temperaturas de 7 a 24 °C. Dias curtos são ideais para o cultivo de alface. Dias de mais de 12 horas de duração causam florescimento da alface (naandanjain.com.br, 2022).

ALMEIDA (2019) utilizou a técnica *Landfarming* como meio de reduzir ou remover totalmente o rejeito de beneficiamento do granito (lama) adicionado em solo descontaminado, e observou o aparecimento e crescimento de plantas que serviram como parâmetro para comprovação da eficácia da biorremediado para possível aplicação na agricultura. Nessa pesquisa foram avaliados os efeitos no crescimento e desenvolvimento de vegetais por meio de observação. A autora concluiu que é viável utilizar a técnica de biorremediação para reaproveitamento desse rejeito como complemento para solos.

É importante destacar que os bioensaios de germinação com sementes de plantas são realizados durante os primeiros dias de seu desenvolvimento nos quais ocorrem uma série de processos fisiológicos importantes e a presença de uma substância tóxica pode causar efeitos adversos, resultando em uma série de anomalias e até mesmo interferir na sobrevivência desta planta (CASTRO, 2013).

3. METODOLOGIA

3.1 Localização da área experimental e análises

Os experimentos de biorremediação e semeadura do canteiro da alface foram realizados no Laboratório de Extensão, Ensino e Tecnologia Química (LETEQ/CCT/UEPB). As análises físico-químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas e Físicas de Solos da Embrapa Algodão, ambos localizados na cidade de Campina Grande - PB. As análises da alface foram feitas no Laboratório de Análises de Plantas, da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), localizada no município de Areia - PB.

3.2 Material

Os solos utilizados foram coletados na Embrapa Algodão e na área ao lado do Laboratório de Extensão, Ensino e Tecnologia Química (LETEQ/CCT/UEPB). As mudas da alface foram adquiridas de produtor de hortaliças da região de Pocinhos - PB, com tamanho ideal para transplântio nos biorreatores.

3.3 Biorreatores

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado como um biorreator horizontal uma bandeja plástica medindo 8x55x35 cm, totalizando 15,4 cm³, ilustrado na Figura 1 e um biorreator de vidro medindo 10x30x20 cm, totalizando 6 cm³.

Figura 1 - Biorreator horizontal de bandeja



Fonte: Própria autoria (2022).

O procedimento para o plantio da alface foi desenvolvido com o solo biorremediado obtido em pesquisa desenvolvida por Cavalcante et al., 2021. Inicialmente, o solo biorremediado foi acondicionado no biorreator de bandeja, posteriormente foi realizado o plantio das mudas da alface, onde ficaram por um período de 35 dias para avaliação do crescimento. Após esse tempo, foram colhidas, realizadas as passagens de cada planta verde e levadas para estufa a 65 °C por 72 h. Após essas 72 horas, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas novamente em balança digital com duas casas decimais, para verificação do peso seco de cada. Só depois de realizadas essas etapas é que essas amostras foram enviadas para as

análises de macronutrientes e metais pesados no laboratório de análises de plantas do Centro de Ciências Agrárias (CCA/UFPB) em Areia - PB.

Na Figura 2 encontra-se ilustrado o biorreator de vidro medindo 10x30x20 cm, totalizando 6 cm³ e na Figura 3 o equipamento para medição de temperatura, umidade e pH (medidor pH tipo 3x1).

Figura 2 - Biorreator *Landfarming* em vidro



Fonte: Própria autoria (2022).

No biorreator de vidro foi utilizado o solo natural sem a aplicação da técnica de biorremediação *Landfarming*, coletado da área localizada ao lado do LETEQ/CCT/UEPB. Nesse biorreator foram plantadas quatro mudas da alface para servir de comparativo com as plantadas no solo biorremediado contido no biorreator de bandeja. O procedimento de plantio e coleta foi o mesmo utilizado no biorreator de bandeja.

Figura 3 – Equipamento para medição de temperatura, umidade e pH



Fonte: Própria autoria (2022).

Em ambos os biorreatores foram realizados o monitoramento e quantificação dos parâmetros: temperatura, umidade e potencial hidrogeniônico (pH), para que o solo se apresentasse de forma favorável ao crescimento da cultura. O solo era umedecido com água da torneira à medida que a umidade estivesse inferior a 60%. A temperatura e o pH do solo eram verificadas duas vezes por semana sempre no mesmo turno. Foi utilizado um medidor pH tipo 3x1 (Figura 3) para medição dos parâmetros citados anteriormente.

3.4 Caracterização do solo

A caracterização do solo biorremediado, utilizado para o plantio da alface, foi realizada na Embrapa Algodão, Campina Grande - PB. Os parâmetros analisados foram nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), pH e matéria orgânica conforme metodologia de análise de solos da Embrapa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise vegetativa da alface

Na Figura 4 encontra-se ilustrado o biorreator de bandeja com a alface transplantada para adaptação, observação e avaliação da pesquisa.

Figura 4 - Alface transplantada em biorreator de bandeja para adaptação, observação e avaliação do crescimento inicial



Fonte: Própria autoria (2022).

Foi possível observar pelas imagens das plântulas (Figura 4) que no primeiro dia após o transplântio, as mesmas estavam em perfeitas condições fisiológicas e vegetativas. Apresentavam-se com coloração adequada e bem sadias, indicando que as mesmas tinham todas as características de que teriam um desenvolvimento normal. Mesmo esse tipo de recipiente (plástico) não sendo o mais indicado para a condução desse tipo de experimento, o mesmo foi utilizado em consequência da quantidade de solo biorremediado disponível na pesquisa. O resultado inicial foi satisfatório para o bom andamento do experimento e desenvolvimento das plantas conforme ilustrado na Figura 4.

Na Figura 5 está ilustrado o biorreator de bandeja com a alface após 10 dias de transplantada.

Figura 5 – Evolução do desenvolvimento da alface em biorreator de bandeja, após 10 dias do transplântio



Fonte: Própria autoria (2022).

Observando a Figura 5 é possível afirmar que o recipiente plástico utilizado como biorreator, com solo biorremediado, se mostrou apropriado para tal prática, diferentemente do que se pensava inicialmente, podendo-se observar o aspecto das plantas com 10 dias após o seu transplante. E, dessa forma, é certo afirmar, que a partir dessa quantidade de dias as plantas começaram a tomar novas configurações de arquitetura. O estiolamento natural já era esperado, devido as plantas não estarem em contato direto com o sol, podendo-se verificar com mais clareza na Figura 6, com solo biorremediado e natural a poucos dias da realização da colheita para pesagem e análises. Vale salientar que a escolha dessa cultura se deu, principalmente, pela mesma possuir um ciclo bem curto, ser de fácil manuseio e possuir bastante massa vegetal na qual seria fundamental para realização das análises propostas no experimento.

Figura 6 – Desenvolvimento da alface em: (a) Biorreator de bandeja, com solo biorremediado; (b) Biorreator de vidro, com solo natural



Fonte: Própria autoria (2022).

Após os 35 dias após transplântio da alface, durante o acompanhamento do experimento foi possível observar a evolução das mudas da cultura, comprovando que o solo biorremediado possui condições de ser reutilizado para plantio de espécies vegetais para consumo humano. Porém, só com os resultados das análises de plantas será possível dizer se as plantas são aptas para consumo humano ou não.

Foram realizados também o controle da umidade e do pH do solo duas vezes por semana, durante todo o período dos 35 dias do experimento, verificando-se dentro

desse intervalo que a umidade do solo se manteve entre 60 e 70% e o pH ficou na faixa de 6,5 a 7. Sendo esse um pH neutro, bem propício para o desenvolvimento natural das plantas. Com esses valores é possível destacar que podemos melhorar ainda mais os resultados da biorremediação do solo realizando poucas modificações na forma do plantio e no tempo total de experimento.

4.2. Análise química das alfaces

Na Tabela 1 estão descritos os resultados das análises químicas para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) das alfaces, realizadas após 35 dias do transplântio para os biorreatores. Análises essas, realizadas no Laboratório de Análises de Plantas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba em Areia - PB.

Tabela 1 - Análises das alfaces após os 35 dias do transplântio para o biorreator

Amostra	Nº LAB	ANÁLISES DAS ALFACES								
		N	P	K	Ca	Mg	Ni	Pb	Cd	Cr
Alface em solo natural	94521	29,58	1,94	61,28	19,81	4,47	2,23	5,78	0,22	1,29
Alface em solo biorremediado	94522	28,53	3,93	34,85	21,98	6,57	1,04	6,57	0,23	1,05

Legenda: N, P, K, Ca e Mg: Digestão com H₂O₂ e H₂SO₄; Ni, Pb, Cd e CR: Digestão com HNO₃ e HClO₄

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Após 35 dias do transplântio, as plantas de alface foram coletadas. Em seguida, foi realizado o peso verde, levados à estufa a 65 °C durante 72 h. Após esse período, o material vegetal foi levado para a realização das análises laboratoriais, para determinação da composição química (N, P, K, Ca, Mg, Cd, Cr, Ni e Pb), conforme resultados apresentados na Tabela 1.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável por limitar a concentração de compostos inorgânicos em alimentos. Limites esses que são estipulados com base em estudos feitos por essas organizações, contando com o auxílio de órgãos do exterior, como a própria Organização Mundial da Saúde (OMS).

Para o elemento cádmio (Cd) a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, RDC Nº 42 DE 29 DE AGOSTO DE 2013) dispõe o limite máximo de 0,20 mg.kg⁻¹ para hortaliças de folhas, de tal modo que a amostra da alface cultivada no solo natural (0,22 mg.kg⁻¹) e no solo biorremediado (0,23 mg.kg⁻¹) apresentaram-se em desconformidade aos padrões. Vale ressaltar que plantas como alface são acumuladoras de cádmio, sendo bastante tolerantes a altas concentrações, não apresentando sintomas de toxicidade (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

Para o elemento chumbo (Pb) a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, RDC Nº 42) dispõe o limite máximo de 0,30 mg.kg⁻¹ para hortaliças de folhas, em que ambas as amostras da alface apresentaram nível elevado para esse elemento.

Com esses resultados de metais pesados acima dos indicados pelos órgãos sanitários, essas plantas não podem ser indicadas para alimentação humana. Não podemos afirmar se esses metais pesados foram dos solos utilizados ou das plantas que já vieram contaminadas de sua origem. Porém, possivelmente, essas plantas podem ser indicadas como removedoras de alguns desses metais dos solos.

No caso dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) os resultados são apresentados em g.kg^{-1} . Os valores de nitrogênio (N) encontrados na análise são considerados adequados para a alface, situando-se próximo ao limite inferior, que é de 30 a 50 g.kg^{-1} (TRANI e RAIJ, 1997).

O fósforo (K) apresentou níveis um pouco abaixo do desejado para a alface, conforme descrito por TRANI e RAIJ (1997). A concentração ficou abaixo do limite inferior do intervalo mencionado por esses autores, que é de 4,0 a $7,0 \text{ g.kg}^{-1}$. Porém, com as alfaces do solo biorremediado é possível observar um teor de potássio menor do que nas alfaces do solo natural, não biorremediado, em aproximadamente 50%.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados, pode-se dizer que a aplicação da técnica *Landfarming* pode ser uma das formas de minimização dos efeitos da degradação de solos contaminados por resíduos orgânicos.

A confecção do biorreator adequado às condições favoráveis para o tratamento do rejeito é uma etapa fundamental para facilitar as operações de homogeneização, aeração e umidificação do solo.

O monitoramento diário dos parâmetros pH, temperatura e umidade foram fundamentais para que eles fossem corrigidos no momento adequado, mantendo-se sempre as condições favoráveis à eficiência do sistema.

O experimento foi instalado com mudas de alface adquiridas na região, com solo biorremediado e solo natural, sendo os resultados bem satisfatórios, com a evolução das plantas dentro da normalidade para o ambiente em que foram instaladas.

As plantas se mantiveram em todo seu ciclo com aspecto de plantas saudáveis, demonstrando que o solo passou pelo processo de biorremediação adequadamente, tornando o mesmo propício para utilização no plantio não só da alface, mas de outras hortaliças também.

Visualmente, não foram detectadas, diferenças entre as plantas de alface do solo biorremediado com as plantas do solo coletado no terreno do laboratório LETEQ/UEPB.

Os resultados das análises de plantas para macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) tanto em solo natural, quanto para o solo biorremediado, foram dentro da normalidade. Com poucas variações entre um e outro. Porém, para metais pesados, nas amostras das alfaces analisadas, em ambos os solos estudados, os níveis de Cd, Pb, Cr foram acima dos padrões determinados pela ANVISA. Sendo assim, essas plantas não são recomendadas para alimentação humana nessa situação. Podendo as mesmas serem utilizadas para remoção/extração de parte desses elementos dos solos, melhorando os mesmos e, posteriormente, os tornando totalmente propícios para cultivos diversos.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT - NBR 13894 Tratamento no Solo (*Landfarming*), 1997.

ALMEIDA, O. E. L. **Recuperação de solo contaminado com rejeito da lavagem de corte de granito utilizando técnica de biorremediação**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). CCT/UEPB, 26 p. Campina Grande, PB, 2019.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Ecl. Quím.*, 35 - 3: 17 - 43, São Paulo, SP, 2010.

BARROS. R. M. Resíduos Sólidos. Ciências Ambientais para Engenharia. Organização Capaz e Horta Nogueira, cap. 6, 157 p. *Elsevier*, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). RESOLUÇÃO - RDC Nº 42, DE 29 DE AGOSTO DE 2013, Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 de agosto. 2013.

CASTRO, F.J. **Avaliação ecotoxicológica dos percolados das colunas de cinza de carvão e de solos com cinza de carvão utilizando *Lactuca sativa* e *Daphnia similis* como organismos teste**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 118 p., São Paulo, 2013.

CAVALCANTE, J. C. F.; SANTOS, J.; SILVA, J. C. A.; LIMA, L. M. R.; LIMA, L. M. R. Aplicação da técnica de biorremediação Landfarming para remoção de rejeitos oriundos do processo de adsorção de gasolina. In: José Henrique Porto Silveira. (Org.). **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia**, 9ª ed., v. 9. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2021, v. 9, p. 166-175.

CETESB. Companhia Ambiental do estado de São Paulo (2013). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 15 jul. 2022.

FORMIGHIERI, T. M.; JERÔNIMO, C. E. M. Produtos oriundos de derramamento de hidrocarbonetos: resíduo perigoso ou solo contaminado? **FENASAN**, 2017.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 34, p. 36-43, (2005). Disponível em: <<http://www.cocminas.com.br/arquivos/file/Biorremediacao.pdf>>. Acesso em 13 jul. 2022.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 3ª ed. Editado pelo autor: Piracicaba, 1999.

MAILA, M. P.; CLOETE, T. E. Bioremediation of petroleum hydrocarbons through landfarming: Are simplicity and cost-effectiveness the only advantages?. **Rev. Environ Sci Biotechnol**, v. 3, 349–360 (2004). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11157-004-6653-z>>. Acesso em 15 jul. 2022.

MASHI, H. B. Biorremediation: Issues a Challenges. **Journal JORIND**, v. 11 (2), pp: 1596 -8303 (2013).

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. **Qualidade da água para consumo humano**. Lidel, Lousã, p.30-6, 2004.

MENEZES, M. P.; RIZZO, A. C. L.; SANTOS, R. L. C. **Biorremediação ex-situ de solos contaminados por petróleo com a adição de material estruturante**. XV Jornada de Iniciação Científica (CETEM), 2007.

MORAIS FILHO, M. C.; CORIOLANO, A. C. F. Biorremediação, uma alternativa na utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera. **HOLOS**, ano 32, v. 7, 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. UFLA/FAEPE. Lavras, MG, 2006.

NASCIMENTO, J. L.; MAGALHÃES Jr., A.; PORTELA, R. R.; SOUSA NETO, V. O.; BUARQUE, P. M. C.; OLIVEIRA, M. S.; MOURA, C. P. Application of adsorptive process for desulphuration of fuel using coconut fiber as adsorbents. *Matéria* (Rio J.) [online]. 2019, v. 24, n. 3, e.12416. **Epub Sep**, (2019). ISSN 1517-7076. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0731>>. Acesso em 16 jul. 2022.

NBR 13894 - Land treatment (landfarming) - Procedure Descriptor: Landfarming
Válida a partir de 30.07.1997.

RIZZO, A. C. L.; LEITE, S. G. F.; SORIANO, A. U.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S. Biorremediação de solos contaminados por petróleo: ênfase no uso de biorreatores. CETEM/MCT. **Série Tecnologia Ambiental**, 37, 76 p. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

RUTHVEN, D. M. **Principle of Adsorption and Adsorption Processes**. Chap. 2-3, John Wiley & Sons, New York. 1984.

SILVA, L. J. **Processo de Landfarming para tratamento de resíduos oleosos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 106 p., 2009.

SMITH, S.R.; HADLEY, P.A. Comparison of organic and inorganic nitrogen fertilizers their nitrate-N and ammonium-N release characteristics and effects on the growth response of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Fortune). **Plant and Soil**, v. 115, n. 1, p. 135-144, 1989.

SOUZA, J. A. Generalidades sobre efeitos benéficos da matéria orgânica na agricultura. **Informe agropecuário**, 26: 7-8, 2005.

TOMASONI, E.; ARAÚJO, J. S.; JERÔNIMO, C. E. M. **Processo de biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos pela técnica de Landfarming utilizando esgoto sanitário**. (2019). Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/biorremediacao-solos-contaminados-landfarming/>>. Acesso em 15 jul. 2022.

TRANI, P.E.; RAIJ, B. V. Hortaliças. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 100, 1997.

<https://naandanjain.com.br/culturas/alface/>. Acesso em 14 jul. 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força e confiança para acreditar no meu sonho e lutar para alcançar aquilo que acredito, sempre no tempo de Deus.

Não esqueço o papel que a Universidade teve ao longo de todo meu percurso e por isso, agradeço os recursos e o apoio que sempre me ofereceu.

Meus agradecimentos aos meus pais que de forma simples e honesta foram me ensinando que estudar seria o melhor caminho, lembrando que quando eu ia para o roçado com pai ele dizia: “vá para casa meu filho que esse lugar não é pra você”, hoje ele está lá no céu, rezando por mim e feliz com toda a certeza.

O que falar de mãe, caladinha, junto com pai na luta do dia a dia trabalhando como raspadeira de mandioca e também agricultora, nos deu ensinamentos que levamos na vida. E as minhas irmãs Luciene, Lucimar e Lucicleide que de forma simples me ajudam na luta do dia a dia. E toda a minha família que se fez presente durante toda a caminhada.

Aos(as) professores(as) por terem contribuído e acreditado para realização do meu sonho, em especial, a professora Lígia Maria Ribeiro Lima e ao Eng. Agrônomo, da Embrapa Algodão, José Carlos Aguiar da Silva pela orientação, pois foram com eles que cheguei a esse momento.

Lembro no dia da recepção dos(as) alunos(as) feita pela coordenação do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental quando a professora Lígia disse: “aquele ali é meu” (quero para pesquisas), palavras que o destino tomou de conta. Obrigada por tudo.

A minha noiva Erika que no meio de tantos semestres entendia a minha luta, com sua simplicidade e amor sempre me acolhendo e fazendo de tudo para que a vida tenha sentido e seja leve.

A minha grande amiga Jéssica Caroline que foi uma pessoa que na pesquisa me fez ter um olhar diferente e mais prático, te desejo o mundo de paz e sucesso.

A amiga de turma que sempre me guiou pelas disciplinas, Ana Tavares, meus agradecimentos, te desejo muito sucesso.