



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

**ANA SABRINA BARBOSA MACHADO**

**RECUPERAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM GASOLINA POR MEIO DA  
TÉCNICA LANDFARMING UTILIZANDO PLANTIO DE MILHO (*Zea mays ssp.*)  
COMO BIOINDICADOR**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2022**

ANA SABRINA BARBOSA MACHADO

**RECUPERAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM GASOLINA POR MEIO DA  
TÉCNICA LANDFARMING UTILIZANDO PLANTIO DE MILHO (*Zea mays ssp.*)  
COMO BIOINDICADOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

**Área de concentração:** Meio Ambiente.

**Orientadora:** Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima

**Coorientador:** Dr. José Carlos Aguiar da Silva

**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.

M149r Machado, Ana Sabrina Barbosa.

Recuperação de solo contaminado com gasolina por meio da técnica landfarming utilizando plantio de milho (*Zea mays ssp.*) como bioindicador [manuscrito] / Ana Sabrina Barbosa Machado. - 2022.

42 p. : il. colorido.

Digitado.

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

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

"Coordenação: Prof. Dr. José Carlos Aguiar da Silva, Embrapa Algodão"

1. Biorremediação. 2. Landfarming. 3. Contaminação do solo. 4. Gasolina. I. Título

21. ed. CDD 628.44

ANA SABRINA BARBOSA MACHADO

RECUPERAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM GASOLINA POR MEIO DA  
TÉCNICA LANDFARMING UTILIZANDO PLANTIO DE MILHO (*Zea mays ssp.*)  
COMO BIOINDICADOR

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Coordenação do Curso de  
Química Industrial da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito  
parcial à obtenção do título de Bacharel em  
Química Industrial.

Área de concentração: Meio Ambiente.

Aprovada em:01/12/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

*Lígia Maria Ribeiro Lima*

---

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

*José Carlos Aguiar da Silva*

---

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

*Vera Lúcia Meira de Moraes Silva*

---

Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva  
(Avaliadora) Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Pablicia Oliveira Galdino*

---

Profa. Dra. Pablicia Oliveira Galdino (Avaliadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais, por todo amor,  
carinho e companheirismo,  
DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por estar ao meu lado em todos os momentos, por não me desamparar e me guiar sempre para o melhor caminho.

Agradeço aos meus pais, Diana e Joaquim, por todo amor, carinho, incentivo, orações, esforço, paciência, pelo apoio financeiro, por sempre fazerem de tudo por mim e pela minha irmã. Vocês são os melhores pais que alguém poderia ter.

A minha irmã, Maria Luiza, por estar sempre ao meu lado e acreditar em mim.

A minha avó Alzenir, por todo amor e orações.

A Thamires, por ter se tornado minha família, enquanto eu estava tão longe de casa. Por ter compartilhado comigo todos os momentos da graduação: as alegrias, tristezas, apreensões, por ter vibrado em cada conquista e me apoiado em momentos difíceis. Não poderia ter alguém melhor para dividir o 002.

Ao meu primo Artur, por ter me acolhido, por ter me ensinado tudo que eu precisava para viver em uma nova cidade, por estar sempre presente na minha vida e disponível para me ajudar no que fosse necessário.

A minha prima e madrinha Clara, por todo amor, carinho, por estar sempre ao meu lado, por me ouvir e aconselhar em todos os momentos

A Raira por ter sido uma grande amiga no decorrer desse curso, por sempre me apoiar e me incentivar em tudo.

Ao meu amigo Daniel, por todas as risadas, apoio, carinho e amizade. Obrigada por ter tornado essa caminhada mais leve.

A minha colega Thaís por ter compartilhado todos os momentos da graduação.

A minha orientadora professora Lígia Ribeiro, e meu coorientador Dr. Carlos por toda paciência, incentivo, disponibilidade e por tudo que contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Aos professores(as) do curso de Química Industrial.

A todos, o meu muito obrigada.

## RESUMO

A contaminação do ambiente por hidrocarbonetos provenientes do petróleo é bastante prejudicial para os seres vivos e para a qualidade do ecossistema em todo o mundo, sendo necessário alternativas viáveis para solucionar esse problema. Nesse contexto, essa pesquisa visou avaliar o desenvolvimento de uma cultura de milho (*Zeamays ssp.*), variedade BRS Gorutuba, como parâmetro de comprovação da aplicação da técnica de biorremediação *landfarming* na recuperação do solo contaminado com gasolina. Para isso confeccionou-se um biorreator do tipo *landfarming* em escala de laboratório, dividido em cinco compartimentos que foram preenchidos com solo. No primeiro compartimento o solo permaneceu sem contaminante, enquanto nos demais adicionou-se um quantitativo de gasolina de 30, 60, 90 e 120 mL. O sistema foi monitorado durante 46 (quarenta e seis) dias, em que se verificou os valores dos parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, umidade, Demanda Química de Oxigênio (DQO), altura das plantas, peso verde e seco. A maior parte dos pontos do solo em que a gasolina foi adicionada, o pH teve uma redução podendo ter ocorrido devido ao caráter ácido da formação de metabólicos que foram biodegradados em água e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A DQO foi quantificada na água que era liberada durante a umidificação do solo, antes e depois do processo de biorremediação, apresentando uma elevada redução. A altura e o peso verde e seco das plantas foram inversamente proporcionais a quantidade de gasolina adicionada, que aconteceu devido a deficiência de nitrogênio no solo. Diante do exposto pode-se concluir que com as condições adequadas fornecidas ao biorreator, e por meio do controle dos parâmetros fundamentais, a cultura do milho (*Zea mays ssp.*), variedade BRS Gorutuba, mostrou-se eficiente como parâmetro de comprovação (bioindicador) da aplicação da técnica de biorremediação na recuperação do solo contaminado por gasolina.

**Palavras-Chave:** biorremediação; *Landfarming*; contaminação do solo; gasolina.

## ABSTRACT

Contamination of the environment by hydrocarbons from petroleum is very harmful to living beings and to the quality of the ecosystem around the world, requiring convenient alternatives to solve this problem. In this context, this research aimed to evaluate the development of a corn crop (*Zea mays ssp.*), variety BRS Gorutuba, as a parameter to prove the application of the landfarming bioremediation technique in the recovery of soil contaminated with gasoline. For this, a laboratory-scale landfarming bioreactor was made, divided into five compartments that were filled with soil. In the first compartment, the soil remained without contaminants, while in the others, gasoline quantities of 30, 60, 90 and 120 mL were added. The system was monitored for 46 (forty-six) days, in which the values of the parameters were verified: hydrogen potential (pH), temperature, humidity, Chemical Oxygen Demand (COD), plant height, green and dry weight. In most parts of the soil where gasoline was added, the pH had a reduction, which may have occurred due to the acid character of the formation of metabolites that were biodegraded into water and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). COD was quantified in the water that was released during soil humidification, before and after the bioremediation process, showing a high reduction. The height and the green and dry weight of the plants were inversely proportional to the amount of gasoline added, which happened due to nitrogen deficiency in the soil. In view of the above, it can be concluded that with the appropriate conditions provided to the bioreactor, and through the control of fundamental parameters, the corn crop (*Zea mays ssp.*), BRS Gorutubavariety, proved to be efficient as a confirmation parameter (bioindicator) of the application of the bioremediation technique in the recovery of soil contaminated by gasoline.

**Keywords:** bioremediation; *Landfarming*; ground contamination; gasoline.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Biorreator para aplicação da técnica <i>landfarming</i> .....	21
Figura 2– Adição de água no solo puro .....	22
Figura 3 - Sementeira de milho .....	23
Figura 4– Milho transplantado da sementeira para o biorreator. ....	23
Figura 5 - Termômetro utilizado para verificação de temperatura do solo .....	24
Figura 6 - Medidor 3x1 acoplado ao biorreator com solo contaminado .....	24
Figura 7– Medição da altura plantas de milho .....	25
Figura 8 - Medidas de pH e umidade antes do plantio do milho .....	28
Figura 9 - Medidas de pH e umidade após a técnica de biorremediação .....	29
Figura 10 – Altura das plantas em períodos distintos após plantio.....	30
Figura 11 - (a) Plantas de milho após dez dias de plantio; (b) Crescimento de plantas após quarenta e seis dias de plantio .....	31
Figura 12 - Média do peso verde e peso seco das plantas de milho .....	31
Figura 13 - Resultados de DQO obtidos nas análises da água liberada antes e depois da biorremediação.....	33

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
2.2 Objetivos específicos .....	11
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
3.2 Petróleo.....	13
3.3 Gasolina.....	14
3.4 Biorremediação.....	15
3.4.1 <i>Técnica landfarming</i> .....	17
3.5 Fatores que influenciam a biodegradação de hidrocarbonetos .....	17
3.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) .....	19
3.7 Cultura do milho.....	19
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
4.2 Métodos .....	21
4.2.1 <i>Confecção do biorreator landfarming em escala de laboratório</i> .....	21
4.2.2 <i>Adição de gasolina ao solo</i> .....	22
4.2.3 <i>Plantio da cultura do milho</i> .....	22
4.2.4 <i>Monitoramento da temperatura, umidade e pH do solo</i> .....	23
4.2.5 <i>Medição de altura e peso verde e seco das plantas</i> .....	24
4.2.6 <i>Determinação de Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i> .....	25
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>26</b>
5.2 Análises de pH e umidade do solo antes do plantio da cultura do milho .....	28
5.3 Análise de pH e umidade do solo após a aplicação da técnica de biorremediação utilizando a cultura do milho.....	29
5.4 Crescimento e peso das plantas .....	30
5.5 Demanda química de oxigênio (DQO) .....	33
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e o desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas deve-se em parte aos combustíveis fósseis (DELLA-FLORA, 2021). No entanto, o manejo desses hidrocarbonetos tem causado inúmeros problemas oriundos de seu derramamento, falta de controle no armazenamento e vazamentos dos tanques e tubulações subterrâneas que os contém, causando preocupação para a sociedade e para o poder público visto que correspondem a diversos casos de contaminação dos solos e de corpos hídricos (SILVA; MESQUITA, 2018).

A contaminação do ambiente por hidrocarbonetos provenientes do petróleo é bastante prejudicial para os seres vivos e para a qualidade do ecossistema em todo o mundo, uma vez que dispõe de efeitos mutagênicos, carcinogênicos, neurotóxicos e imunotóxicos dos produtos de petróleo que são constituídos por uma mistura complexa de milhares de substâncias químicas (VARJANI; UPASANI, 2016; MARCHAND et al., 2017; BISOGNIN et al., 2018).

Desse modo, os resíduos contaminados com derivados do petróleo que estão dispostos de forma irregular no meio ambiente resultantes de atividades antrópicas, em razão da complexidade do seu comportamento, complexação da sua estrutura e intensidade de modificar as propriedades do local onde incidem, tem provocado inúmeros obstáculos em relação a sua remoção (LEITE; ANTUNES, 2021). Logo, são necessárias alternativas convenientes para solucionar esse problema.

Dentro desse contexto, há várias possibilidades para tratamento de locais contaminados, entre eles processos físico-químicos e biológicos, com a finalidade de efetuar a remoção de poluentes orgânicos em concentrações que sejam indetectáveis ou, se detectáveis, a concentrações inferiores aos limites determinados como seguros ou aceitáveis pelas legislações (SILVA, 2009; FORMIGHIERI; JERÔNIMO, 2017). Contudo, de acordo com Gaur et al. (2013) os procedimentos físico-químicos geralmente utilizados além de terem um preço elevado, seus subprodutos ainda são danosos para o ambiente. Já os processos biológicos apresentam-se de forma contrária desta, a exemplo da biorremediação, que é uma técnica economicamente viável, além de ser considerada menos agressiva ao meio ambiente (ROCHA et al., 2016).

A biorremediação é um método biotecnológico fundamentado no uso de agentes biológicos, como plantas, microrganismos ou enzimas, com o objetivo de

eliminar poluentes ambientais ou reduzi-los a compostos de baixa toxicidade (LACERDA; FAVONI; AMARAL, 2019). Existem várias técnicas de biorremediação, em que pode mencionar-se a bioaugmentação, bioestimulação, *landfarming*, entre outras, e sua escolha deve ser o melhor procedimento após a realização de estudos criteriosos dos fatores biológicos, físicos e químicos da área a serremediada (ROCHA et al., 2016).

A técnica *landfarming* possui boa relação custo-benefício quando comparada às outras formas de tratamento de resíduos sólidos (HAMDI et al., 2007), o seu princípio consiste na parte superior de solos aráveis e não contaminados realizar a aplicação e incorporação de resíduos contaminantes e/ou poluentes, em forma líquida ou sólida, onde posteriormente ocorrerá a degradação biológica (LACERDA; FAVONI; AMARAL, 2019).

Diante do exposto, o estudo visa avaliar o desenvolvimento de uma cultura de milho como parâmetro de comprovação da aplicação da técnica de biorremediação *Landfarming*, atuando como bioindicador da recuperação do solo contaminado com gasolina.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar o desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays ssp.*), variedade BRS Gorutuba, como parâmetro de comprovação da aplicação da técnica de biorremediação *Landfarming*, atuando como bioindicador da recuperação do solo contaminado com gasolina.

### 2.2 Objetivos específicos

- Confeccionar o biorreator, em escala de laboratório, para adicionar o solo contaminado degasolina com o intuito de acompanhar o período de biorremediação natural;
- Realizar o plantio do milho simulando situação real de campo;
- Monitorar as variáveis temperatura, umidade e pH, no período de crescimento do milho;
- Determinar a Demanda Química de Oxigênio (DQO) na água utilizada na umidificação do solo antes e depois da biorremediação;
- Efetuar análises físico-químicas do solo antes e depois da biorremediação;
- Executar análises de crescimento das plantas em três períodos distintos, peso verde e seco do milho plantado no solo em estudo no final do experimento.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Contaminação do solo

O solo é um elemento natural finito, formado por água, minerais, ar e matéria orgânica. Ele é um componente fundamental para a sobrevivência no planeta Terra, visto que realiza diversos processos essenciais para sustentabilidade de ecossistemas e manutenção da diversidade biológica (CAMPOS; MARINHO; REINALDO, 2019; CANEPELLE et al., 2018).

Diferentes tipos de processos podem diminuir a qualidade do solo tais como: desertificação, inundação, erosão, presença de patógenos e parasitas e a contaminação por substâncias químicas (JÚNIOR, 2017). Essa última, devido ao crescimento populacional e das atividades industriais nas últimas décadas, está em bastante evidência, visto que provocaram inúmeros problemas ambientais que afetam vários compartimentos ecossistêmicos, entre eles o solo.

O solo é muito propenso a sofrer graves alterações em razão do contato, muitas vezes direto com os contaminantes. Além disso, pode acabar servindo como caminho para que esses contaminantes atinjam e degradem outros recursos, como por exemplo as águas subterrâneas que são bastante vulneráveis e sua descontaminação é muito complexa e onerosa (LEITE; ANTUNES, 2021).

Não há um sistema de classificação universal de contaminantes, no entanto, existem substâncias que cada vez mais são encontradas em concentrações excessivas, e que dispõem de riscos elevados e necessitam de precaução (MATOS, 2016), entre elas, estão substâncias orgânicas e inorgânicas.

Os contaminantes inorgânicos conhecidos são descritos como “elementos tóxicos”, conforme recomendado pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) e inclui os componentes metálicos e não metálicos da Tabela Periódica, que antes eram chamados de “metais pesados”. Nesta denominação, englobam-se elementos que em baixa concentração são biologicamente necessários organismos vivos. Porém, quando se encontram em concentrações mais elevadas, ocasionam desequilíbrio, apresentando certa toxicidade (SILVA et al., 2012). Um exemplo desse tipo de elemento é o zinco (Zn).

Outro tipo de contaminação do solo que está sendo recorrente é a proveniente de atividades de petróleo e seus derivados, que são caracterizadas como

contaminantes orgânicos. Estes, possuem hidrocarbonetos na sua fração majoritária como por exemplo benzeno, tolueno, xileno e seus isômeros, etilbenzeno, que podem provocar diversos problemas aos seres vivos (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010). Desse modo, faz-se necessário o emprego de técnicas que removam esses elementos prejudiciais ao solo para que o deixe em bom estado para o uso.

### **3.2 Petróleo**

O petróleo é oriundo de um longo processo natural, que ocorre, na maior parte, devido a decomposição dos restos de organismos vivos. Apesar de aparentemente se demonstrar como uma massa pegajosa simples, é na verdade uma mistura complexa de compostos químicos, principalmente de hidrocarbonetos gasosos, líquidos e sólidos (GAUTO, 2016).

A composição do petróleo é de 13% de hidrogênio, 85% de carbono e 2% de nitrogênio, oxigênio e enxofre e seus compostos apresentam diferenças em tamanho e tipo. Os seus diferentes tipos de compostos são aromáticos (arenos com um ou mais anéis benzênicos), naftênicos (cicloalcanos com anéis carbônicos), parafinas (alcanos com ligações simples entre átomos de carbono), e oleofinas (alcenos com uma ou mais ligações duplas entre carbonos) (GABARDO, 2007).

O petróleo possui uma ampla importância mundial, não somente por ser uma das principais fontes de energia utilizadas pela humanidade, mas também pelos derivados, visto que são a matéria-prima para a manufatura de diversos bens de consumo, sendo assim, um componente presente e relevante na vida das pessoas (MARIANO, 2001).

No entanto, as inúmeras atividades da indústria do petróleo como perfuração, produção, transporte, processamento e distribuição, geram quantidades significativas de resíduos sólidos, compreendendo várias classes de hidrocarbonetos podendo acarretar sérios problemas ambientais (SILVA, 2009). Inclusive, a exploração e produção desse óleo em campos marítimos, possui um elevado potencial de impacto ambiental, tanto pela quantidade de resíduos gerados, quanto pela toxicidade dos mesmos e também pela própria característica da atividade de ocorrer em alto-mar, em que qualquer falta de controle é capaz de causar impactos catastróficos ao meio ambiente (MAIA; SILVA; PERES, 2015).

Dentro desse contexto, acidentes de derramamento de petróleo e seus derivados no mar ganham há muito tempo repercussão na mídia, em razão das graves consequências ambientais observadas imediatamente após seu acontecimento e também pelos custos envolvidos com a recuperação (VIEIRA, 2004).

Os desastres ambientais que envolvem essa fonte de energia estão entre os que mais ameaçam a biodiversidade, a saúde e as atividades humanas por causa da sua composição química extremamente tóxica, principalmente quando em altas concentrações (SILVA, 2021). Autores indicam que em virtude do petróleo possuir compostos com características carcinogênicas, como os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), o contato com ele pode ser associado a vários tipos de câncer como no fígado, rins, pulmões, mamas e próstata. Além disso, o sistema reprodutivo também pode ser severamente afetado, entre diversos outros problemas (EUZÉBIO; RANGEL; MARQUES, 2019).

Assim, em razão da demora para o meio ambiente efetuar a autodepuração do petróleo, visto que os hidrocarbonetos são complexos e se decompõem de forma muito lenta, o derramamento desse óleo torna-se uma questão mundial que polui o solo, a água subterrânea, os rios e o oceano, ocasionando destruição de recursos biológicos, propriedades e vida humana (AHMED; TASLEEM; KHAN, 2018; SILVA, 2021).

### **3.3 Gasolina**

A gasolina é um tipo de produto obtido a partir do refino do petróleo sendo formada por hidrocarbonetos com cadeias de 4 a 12 carbonos, em que nestes estão inseridos alcanos saturados e insaturados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e os hidrocarbonetos aromáticos como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) (SOUZA, 2017). Além desses, também há concentrações menores de contaminantes tóxicos naturais constituídos por compostos contendo benzeno, nitrogênio, enxofre, oxigênio e metais (CARVALHO; DANTAS FILHO, 2014).

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a gasolina comercializada nos postos de combustíveis brasileiros é do tipo C, esta contém etanol anidro na sua composição no teor estabelecido pela legislação vigente que é de 27% em volume para gasolina C comum e 25% para gasolina C premium, segundo a Portaria MAPA nº 75/2015 (ANP, 2020).

A adição de etanol à gasolina é algo que requer uma atenção especial, visto que há uma alteração nas propriedades físicas e químicas da gasolina, e assim o comportamento desta é modificado no meio ambiente, logo é possível que aconteçam impactos positivos e negativos decorrentes dessa ação (ANDRADE, 2016). Sendo o etanol um combustível renovável, a literatura considera que seu uso esteja associado à diminuição da emissão de poluentes, como também colabora para o aumento da eficiência dos motores que utilizam dessa mistura (RIBEIRO; SCHIRMER, 2017).

De acordo com o aumento da concentração do etanol misturado à gasolina, a solubilidade dos hidrocarbonetos aromáticos, como os BTEXs (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), pode elevar-se nas águas subterrâneas, sendo este processo denominado efeito de co-solvência (FINOTTI et al., 2009). Desse modo, essa co-solvência possibilita o aumento da pluma de contaminação e da dinâmica do contaminante em solos e águas (FILHO et al., 2013; ANDRADE et al., 2017; SOUZA, 2017).

### **3.4 Biorremediação**

A biorremediação é uma técnica que faz uso de organismos vivos, como plantas ou microrganismos (bactérias e fungos), com o objetivo de atenuar ou recuperar determinados locais contaminados presentes no meio ambiente (BERGER, 2005; MUTECA, 2012; MORAIS FILHO e CORIOLANO, 2016). Os compostos contaminantes são transformados em produtos inofensivos pelos microrganismos, por meio das reações que acontecem como parte de seus próprios processos metabólicos (VIDALI, 2001).

Há tecnologias distintas para remediar a contaminação de solos que geralmente são divididas em dois grandes grupos: as tecnologias *in-situ*, executada diretamente no local onde está o material contaminado, e as tecnologias *ex-situ*, em que é necessário que o solo seja removido de onde se encontra para ser posteriormente tratado, quer seja em instalações no local (*on-site*) ou em local distinto após escavação e transporte (*off-site*) (MATOS, 2016).

A escolha de umas das tecnologias da biorremediação depende principalmente das condições econômicas, técnicas e do tempo disponível (BERGER, 2005). Segundo Almeida (2019), as técnicas aplicadas na biorremediação *in-situ* são:

atenuação natural, bioaugmentação, bioestimulação, *landfarming* e fitorremediação. Já a biorremediação *ex-situ* dispõe das técnicas de compostagem e biorreatores.

A biorremediação é muito discutida e aplicada amplamente em outros países, onde foram alcançados resultados satisfatórios, no entanto, o Brasil ainda permanece no âmbito teórico, realizando estudos, com poucas aplicações efetivas ou em larga escala, e se comparado a países os quais dispõem de trabalhos e patentes referentes a esta área, o Brasil possui uma baixa produtividade (SANTOS et al., 2021).

Contudo, de acordo com Andrade, Augusto e Jardim (2010), a biorremediação caracteriza-se como uma alternativa viável e promissora para o tratamento de solos contaminados por petróleo e seus derivados. No Quadro 1 encontram-se descritas as principais vantagens e limitações referentes à biorremediação de solos, segundo os citados autores.

**Quadro 1** - Vantagens e limitações da biorremediação de solos

<b>VANTAGENS</b>	<b>LIMITAÇÕES</b>
A aplicação envolve o uso de equipamentos de fácil obtenção, instalação e operação	Podem ser requeridos monitoramento contínuo por tempos longos e/ou manutenção do sítio submetido à biorremediação
Em atividades <i>in-situ</i> , a biorremediação gera distúrbios mínimos ao meio ambiente	A técnica é ineficiente para compostos orgânicos que ficam adsorvidos no solo, tornando-os indisponíveis à biodegradação
Em condições ótimas de operação, apresenta custos menores em comparação às técnicas alternativas de remediação	É menos eficiente em períodos menores de tempo em comparação às outras técnicas de remediação, como os Processos Oxidativos Avançados (POAs)
Pode ser combinada com outras técnicas, como a <i>Soil Vapour Extraction</i> (SVE), para acelerar o processo de descontaminação	Contaminantes de baixa solubilidade em concentrações elevadas, como os Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP), podem ser tóxicos aos microrganismos e/ou não biodegradáveis, inviabilizando a utilização da técnica
Na maioria dos casos, essa técnica não produz compostos tóxicos que devem ser dispostos e tratados em outro local	As propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo e as condições climáticas podem alterar a taxa de biodegradação
É muito eficiente na biodegradação de petróleo e seus derivados em solos permeáveis	Dificuldade de utilização em solos argilosos ou com baixa permeabilidade

Fonte: ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, com adaptações, 2010.

### **3.4.1 Técnica *landfarming***

O processo *landfarming* é uma técnica biológica de tratamento de solo contaminado que objetiva a diminuição da concentração de resíduos orgânicos sólidos dispostos nele, por meio de processos associados à biorremediação (TOMASONI; ARAÚJO; JERÔNIMO, 2017). A técnica faz uso do oxigênio, normalmente proveniente do ar, para incitar o crescimento e reprodução das bactérias aeróbias, em que estas, degradam os constituintes que contaminam solo (COUTINHO et al., 2015).

O *landfarming* geralmente é empregado para tratar resíduos oleosos oriundos da atividade petrolífera, recebendo os seguintes resíduos: lodos da estação de tratamento de água; lodos químicos e biológicos, gerados cotidianamente na unidade de tratamento de despejos industriais e borras oleosas, advindos da limpeza de fundo de tanques de petróleo e de tanques da estação de tratamento de despejos líquidos industriais (tratamentos primário e secundário) (GUARACHO; PONTE; ADAMOSKI, 2005).

Em diversos países, incluindo o Brasil, o biotratamento em *landfarming* é muito utilizado em compostos de hidrocarbonetos de petróleo nas indústrias e refinarias, em que são largamente removidos por volatilização, biodegradação e adsorção (PAUDYN et al., 2008). Sims e Sims (1999) e Jaques et al. (2007) destacaram em seu trabalho que em razão da simplicidade de operação e à alta taxa de aplicação dos resíduos ao solo, que varia de 83 a 252 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, esse sistema foi escolhido, desse modo, minimizando o custo por unidade de volume de resíduo tratado. Contudo, falhas no desenvolvimento da operação do *landfarming* e situações ambientais desfavoráveis à atividade microbiana no decorrer de alguns períodos do ano podem reduzir as taxas de degradação (JAQUES et al., 2007).

### **3.5 Fatores que influenciam a biodegradação de hidrocarbonetos**

Para que o processo de biorremediação ocorra de maneira eficiente é essencial o estabelecimento de condições ambientais adequadas, pois caso isso não aconteça, o crescimento e a sobrevivência dos microrganismos envolvidos no processo de degradação serão intensamente afetados e assim, a biorremediação dos compostos poluentes será prejudicada (RIZZO et al., 2006).

Os principais parâmetros físicos que influem na degradação são o local onde o composto é encontrado, podendo ser em sedimento, solo e água; a temperatura e a luz. Os ambientes como solos e sedimentos têm como características a adsorção de moléculas por meio da atração de cargas opostas, fazendo com que a biodisponibilidade do poluente seja diminuída. A baixa temperatura pode fazer com que a atividade metabólica de microrganismos decaia, reduzindo, conseqüentemente, a taxa de degradação de poluentes nestas áreas (GAYLARDE BELLINASSO; MANFIO, 2005).

Os fatores químicos podem interferir de maneira positiva ou negativa na biodegradação de contaminantes orgânicos, alguns exemplos dos que devem ser observados são a disponibilidade de nutrientes, os doadores e aceptores de elétrons, o potencial redox, o potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio, umidade (MARTINS, 2015).

Para biodegradação de um composto químico no meio ambiente os fatores biológicos são primordiais, pois a presença de uma população de microrganismos capazes de efetuarem metabolização da molécula original e seus produtos de degradação são essenciais para a efetivação da biorremediação (GAYLARDE BELLINASSO; MANFIO, 2005).

Dentre esses fatores citados, a temperatura, presença de oxigênio, nutrientes, e pH são os principais que devem ser controlados para a efetivação da biorremediação (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016).

De acordo com Silva (2022) a temperatura é um agente determinante no processo de degradação dos resíduos orgânicos, e isso ocorre porque esse fator atinge profundamente os microrganismos que são os responsáveis pelas transformações desejadas. A temperatura afeta, por exemplo, o crescimento da célula microbiana por impactar nas reações catalisadas por enzimas e compromete a funcionalidade e estrutura dos sistemas membranares. Desse modo, cada microrganismo possui temperatura máxima, ótima e mínima (NICOLAU, 2014).

A umidade do solo é vista por Haider (1999) como um fator ambiental crítico, em razão de ser uma substância essencial para os processos biológicos. Assim, uma elevada atividade microbiana facilmente acontecerá se dispor de adequada disponibilidade de água aos microrganismos.

O processo de biorremediação pode necessitar de oxigênio ou hidrogênio, caracterizando-o como aeróbio ou anaeróbio, respectivamente. Em grande parte dos

locais, a subsuperfície é desprovida dessas espécies o que impossibilita os microrganismos de se reproduzirem e degradarem completamente o contaminante alvo (SILVEIRA, 2016). Então, o oxigênio também tem suma importância na degradação de hidrocarbonetos.

O potencial hidrogeniônico (pH) tem ligação direta com a solubilidade dos nutrientes e a atividade dos microrganismos. As bactérias heterotróficas, por exemplo, dependem de um pH neutro ou aproximado a isso para biodegradar de forma eficaz, enquanto os fungos precisam de um meio mais ácido (BONACINA, 2020).

Para o desenvolvimento microbiano os nutrientes básicos obrigatórios são o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K), podendo ser alterados conforme o poluente. A relação ideal de carbono, nitrogênio e fósforo (C:N:P) no solo, deve ser da ordem de 100:10:1 para o processo de biodegradação (BONACINA, 2020).

### **3.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

Existem diferentes parâmetros químicos que são utilizados como indicativos de poluição das águas, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO). Segundo Mota (2010) a DBO é a quantidade de oxigênio que seria preciso fornecer às bactérias aeróbias para estas ingerirem a matéria orgânica em um líquido, podendo ser a água ou esgoto. Esse parâmetro pode ser determinado durante 5 dias, em que se observa o oxigênio consumido em amostras de líquido em uma temperatura de 20 °C.

A DQO determina a quantidade de oxigênio correspondente ao conteúdo de Matéria Orgânica (MO) que é sujeito à oxidação por um agente oxidante forte. Ela pode ser determinada pelo método titulométrico ou colorimétrico. Desse modo, a DQO classifica-se como um parâmetro que pode, de forma indireta, estabelecer indicativo do grau de contaminação de um corpo d'água (BARCELA, 2016).

### **3.7 Cultura do milho**

Cultivado a mais de 8.000 anos em diversas partes do mundo como Estados Unidos da América, Índia, Brasil, França, o milho (*Zea mays* L.) é uma espécie da família *Gramineae/Poaceae*, com origem no teosinto, *Zea mays*, e subespécie mexicana *Zea mays* ssp. mexicana (Schrader) *Illis*. Esse cereal dispõe de elevada

adaptabilidade, em razão de possuir variados genótipos o que possibilita o seu cultivo em climas tropicais, subtropicais e temperados (BARROS; CALADO, 2014).

O plantio do milho (*Zea mays L.*) no Brasil ocorreu há muito tempo. Antes da colonização, os índios já semeavam e tinham o milho como o principal integrante de sua dieta. O consumo desse cereal aumentou com o advento dos portugueses, e assim, novos produtos utilizando o milho como base foram agregados a rotina alimentar dos brasileiros (SOUSA, 2020).

O milho destaca-se como uma cultura de grande importância tanto econômica, quando social (PINHEIRO et al., 2021), pois pode ser utilizada como fonte de alimento, fibras, rações e combustível (NARDINO et al., 2017). No Brasil ele enquadra-se como uma das principais *commodities* agrícolas (MELO et al., 2018).

Nas últimas décadas, o milho conquistou o patamar de maior cultura agrícola do mundo, sendo a única a exceder a marca de 1 bilhão de toneladas produzidas anualmente (MIRANDA, 2018). Os maiores produtores deste cereal são os Estados Unidos, China e Brasil (MELO et al., 2018).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) é esperada para a safra de 2022/2023 uma produção total de 125,5 milhões de toneladas de milho. Já na segunda safra do grão estima-se um aumento tanto da área como da produtividade, com uma colheita de 94,53 milhões de toneladas, alcançando um crescimento de 8,2% em relação à safra 2021/22 (CONAB, 2022).

O milho é produzido em todas as regiões do Brasil, isso mostra simultaneamente à sua importância social, econômica e evidência que as variações nas formas de produção são determinadas pelo solo, clima, disponibilidade de infraestrutura de produção e mercado, além de fatores sociais e econômicos relacionados aos produtores e ao mercado (ARTUZO et al., 2019).

A variedade do milho BRS Gorutuba foi desenvolvida com foco em pequenos produtores do Sertão do Nordeste, em que as chuvas são poucas e ocorrem em um curto período. Essa é uma espécie de polinização aberta e ciclo superprecoce, adequada para regiões onde a época chuvosa pode não ser longa o bastante para que cultivares precoces concluam seu ciclo reprodutivo, sem diminuição do potencial produtivo. O florescimento masculino ocorre de 6 a 7 dias antes das variedades precoces, e na maturação fisiológica, essa diferença pode chegar a 15 ou 20 dias (EMBRAPA, 2010).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Foram utilizados como materiais de estudo o solo livre de contaminantes e o milho (*Zea mays ssp.*), variedade BRS Gorutuba, ambos fornecidos pela Embrapa Algodão localizada no município de Campina Grande - PB.

### 4.2 Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia Química (LATEQ/CCT/UEPB) onde utilizou-se um biorreator de cinco compartimentos (câmaras), a análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO) da água foi realizada na EXTRABES/UEPB e as análises físico-químicas do solo foram efetuadas no Laboratório da Embrapa Algodão, todos localizados no município de Campina Grande, Estado da Paraíba.

#### 4.2.1 Confecção do biorreator *landfarming* em escala de laboratório

Para o início do desenvolvimento do estudo, foi construído um biorreator horizontal de vidro, medindo 50x30x20 cm, totalizando 30 cm<sup>3</sup>, dividido em 5 compartimentos de 10x30x20 cm, conforme representado na Figura 1.

**Figura 1** - Biorreator para aplicação da técnica *landfarming*



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

#### **4.2.2 Adição de gasolina ao solo**

Inicialmente as 5 câmaras do biorreator foram preenchidas com o solo retirado da Embrapa Algodão e uma parte foi coletada para realização das análises físico-químicas iniciais, antes da adição de gasolina. Depois, adicionou-se o primeiro quantitativo de água de 1.150 mL na câmara do biorreator que não recebeu o contaminante, conforme ilustrado na Figura 2.

**Figura 2**– Adição de água no solo puro



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Essa quantidade de água inserida foi para o conhecimento do volume exato que seria preciso para o solo ficar bem umedecido. Parte deste quantitativo de água foi adicionada nas outras quatro câmaras do biorreator sendo completada com o acréscimo de gasolina nas quantidades de 30; 60; 90 e 120 mL, respectivamente.

O material contido no biorreator ficou em repouso durante 11 dias, em que nesse período foi verificada a umidade, o pH e a temperatura duas vezes por semana, e foi adicionado água quando necessário.

#### **4.2.3 Plantio da cultura do milho**

As sementes de milho utilizadas foram obtidas na Embrapa Algodão, Campina Grande - PB. A variedade escolhida foi BRS Gorutuba, em razão de sua precocidade e compatibilidade com o clima da região e seu plantio serviu para uma avaliação mais consistente do potencial agrícola do solo biorremediado.

Preparou-se um canteiro com as sementes do milho em paralelo ao momento de adição da gasolina ao solo. A sementeira pode ser observada na Figura 3.

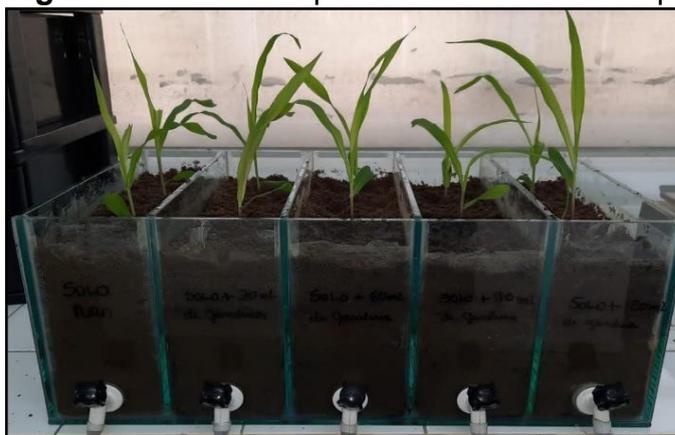
**Figura 3 - Sementeira de milho**



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Esse milho germinou em cerca de 4 dias e quando atingiu um tamanho médio de 12,6 cm, que aconteceu em 11 dias, foi transplantado para o biorreator, onde foram adicionadas duas plantas em cada compartimento conforme ilustrado na Figura 4.

**Figura 4– Milho transplantado da sementeira para o biorreator**



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

#### **4.2.4 Monitoramento da temperatura, umidade e pH do solo**

A temperatura foi medida com um termômetro, representado na Figura 5, duas vezes na semana em horário pré-determinado, posteriormente calculou-se a média semanal para que fosse possível classificar as principais bactérias que operavam na temperatura média obtida.

**Figura 5** - Termômetro utilizado para verificação de temperatura do solo



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

A umidade e pH foram monitorados com um medidor tipo 3x1 para medição de pH, umidade e luminosidade, conforme ilustrado na Figura 6, todos em horários também pré-estabelecidos e observados duas vezes por semana com o objetivo de acompanhar o crescimento da cultura do milho e a biorremediação do solo.

**Figura 6** - Medidor 3x1 acoplado ao biorreator com solo contaminado



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

#### **4.2.5 Medição de altura e peso verde e seco das plantas**

Durante o desenvolvimento do trabalho realizou-se periodicamente a medida do tamanho das plantas de milho, conforme ilustrado na Figura 7, para que fosse possível acompanhar sua evolução e a efetivação da técnica de biorremediação. Além

disso, também foi medido o peso verde das plantas, em que elas foram cortadas rentes ao solo e pesadas em uma balança digital. Posteriormente, as plantas foram colocadas na estufa em temperatura de 65° C por quatro dias e depois pesadas novamente para em seguida serem obtidos os valores do peso seco das mesmas.

**Figura 7**– Medição da altura plantas de milho



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Sabe-se que o solo é o principal meio para o crescimento das plantas e seu funcionamento adequado é essencial para assegurar a capacidade produtiva dos agroecossistemas, além disso, uma boa qualidade do solo também é importante para a preservação de outros serviços ambientais indispensáveis, como a biodiversidade, o fluxo e a qualidade da água, e o equilíbrio de gases atmosféricos (LOPES; GUILHERME, 2007).

Dentro desse contexto, o conhecimento da fertilidade do solo antes do cultivo de plantas é fundamental para saber como estas irão se desenvolver de acordo com os nutrientes disponíveis, ou mesmo se haverá necessidade de uma intervenção.

#### **4.2.6 Determinação de Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi realizada na EXTRABES/UEPB na água que era liberada durante a umidificação do solo, antes e depois do processo de biorremediação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises físico-químicas do solo

A análise físico-química do solo é essencial para quantificar a presença de cada elemento químico presente nele. A Tabela 1 dispõe dos resultados das análises físico-químicas do solo descontaminado utilizado no estudo, realizadas na Embrapa Algodão.

**Tabela 1** - Análises físico-químicas do solo descontaminado

FERTILIDADE DO SOLO											
pH H <sub>2</sub> O 1:2, 5	COMPLEXO SORTIVO (mmolc.dm <sup>-3</sup> )							%	mmolc/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	g/Kg
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	H+Al	T	V	Al <sup>3+</sup>	P	M.O
5,8	21,4	12,6	2,5	7,8	44,3	14,0	58,3	76,0	0,0	149,2	11,0

LEGENDA: Ca<sup>2+</sup> (cálcio); Mg<sup>2+</sup> (magnésio); Na<sup>+</sup> (sódio); K<sup>+</sup> (potássio); S (enxofre); H+Al (acidez total); T (CTC efetiva); V (saturação); Al<sup>3+</sup> (alumínio); P (fósforo); MO (matéria orgânica).

Fonte: Embrapa Algodão, com adaptações, 2022.

Observando a Tabela 1, de acordo com Prezotti e Guarçoni no Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar (2013), o solo apresenta um pH com acidez média sendo ideal para a maioria das culturas; ausência de alumínio (Al<sup>3+</sup>), que é tóxico; média capacidade de troca de cátions (T) que é uma das variáveis mais importantes para a interpretação do potencial produtivo do solo, pois indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7. Essas cargas são capazes de reter os nutrientes de carga positiva como K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. E dispõe ainda de baixo teor de matéria orgânica e uma disponibilidade intermediária dos demais micronutrientes, caracterizando-se como um solo de média a alta fertilidade natural.

O teor de fósforo se mostrou em excesso (149,2 mg.dm<sup>-3</sup>), o que pode ser um complicador pois reflete, indiretamente, na absorção ou no transporte para a parte aérea das plantas de outros nutrientes como o cobre, o ferro, o manganês e o zinco.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das análises químicas do solo após o processo de contaminação e biorremediação utilizado no estudo.

**Tabela 2** - Análises físico-químicas do solo após 45 dias de biorremediação

FERTILIDADE DO SOLO												
DESCRIÇÃO	pH H <sub>2</sub> O 1:2,5	COMPLEXO SORTIVO (mmolc.dm <sup>-3</sup> )							%	mmolc.dm <sup>-3</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	g.kg <sup>-1</sup>
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	H+Al	T				
Solo + 0 mL gasolina	6,1	28,5	17,1	5,9	7,0	58,5	12,8	71,3	82,1	0,5	170,2	12,4
Solo + 30 mL gasolina	6,1	22,2	15,6	6,4	5,4	49,6	12,0	61,6	80,6	0,5	112,1	11,7
Solo + 60 mL gasolina	6,1	21,6	15,0	8,0	7,4	52,0	11,1	63,1	82,4	0,5	126,0	11,8
Solo 90 mL gasolina	6,1	22,3	16,2	7,0	9,0	54,5	10,3	64,8	84,1	0,5	138,4	11,0
Solo 120 mL gasolina	6,3	23,4	17,8	6,2	9,6	57,0	8,7	65,7	86,8	0,5	166,9	12,1

LEGENDA: Ca<sup>+2</sup> (cálcio); Mg<sup>+2</sup> (magnésio); Na<sup>+</sup> (sódio); K<sup>+</sup> (potássio); S (enxofre); H+Al (acidez total); T (CTC efetiva); V (saturação); Al<sup>3+</sup> (alumínio); P (fósforo); MO (matéria orgânica).

**Fonte:** Embrapa Algodão, com adaptações, 2022.

Conforme pode-se observar na Tabela 2 o solo apresenta um pH médio de 6,1 caracterizando-se com acidez fraca, diferentemente do apresentado na primeira análise (Tabela 1), sendo esse pH mais propício à maioria das culturas já que ele está mais próximo da neutralidade.

O alumínio (Al<sup>+3</sup>), que é tóxico, não foi diferente em nenhuma das câmaras do biorreator, apresentando um valor de 0,5 mmolc.dm<sup>-3</sup>. Quando o Al<sup>3+</sup> no solo é maior que 0,5 mmolc.dm<sup>-3</sup> não é recomendado, pois, pode trazer prejuízos com a queda da produtividade. A média da capacidade de troca de cátions (T) ficou acima dos 65 mmolc.dm<sup>-3</sup>, sendo essa uma das variáveis mais importantes para a interpretação do potencial produtivo do solo, pois indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7. Tendo o solo sem adição de gasolina apresentado o maior valor, 71,3 e a câmara com adição de 30 mL de gasolina o menor valor de 61,6. Mesmo assim, ambas foram maiores do que nos resultados do solo antes do início do experimento.

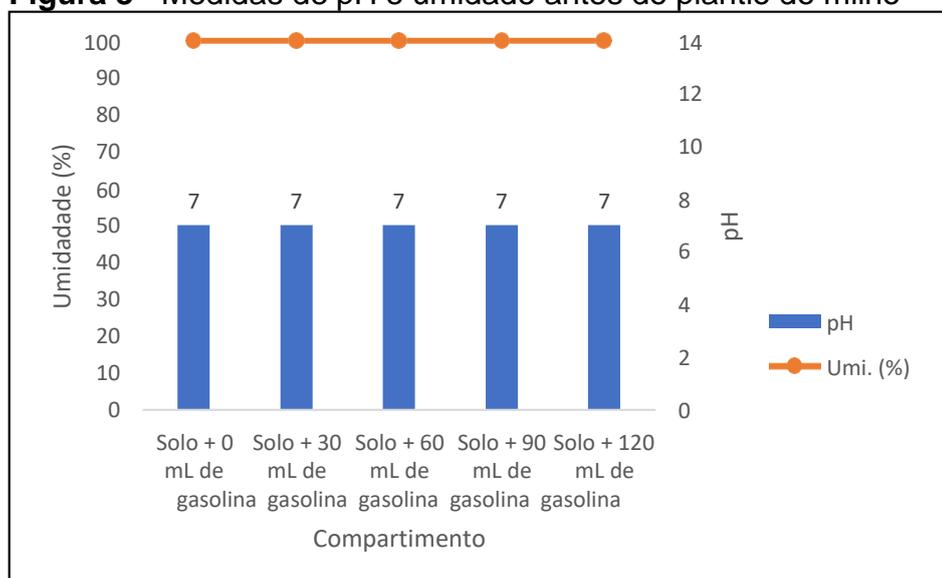
Os restantes dos nutrientes também tiveram o mesmo comportamento, todos foram maiores que os apresentados na Tabela 1. O teor de matéria orgânica manteve-se no mesmo patamar, indicando que o solo está na faixa do arenoso. Vale destacar que o enxofre (S) teve acréscimo em seus teores, podendo atribuir a adição da gasolina nos solos estudados e até mesmo devido ao estudo realizado em laboratório, em que o mesmo pode ter se tornado mais disponível naturalmente. Em termos gerais, apenas o P teve valores em excesso, apresentando teores maiores que 100 em todas as câmaras do biorreator, tendo destaque no solo sem gasolina, com mais de 170

mg.dm<sup>-3</sup> e na câmara com adição de 120 mL de gasolina, que apresentou um pouco mais de 166 mg.dm<sup>-3</sup>.

## 5.2 Análises de pH e umidade do solo antes do plantio da cultura do milho

A média dos resultados de pH e umidade (U) nas câmaras do biorreator obtidos antes do plantio estão representados na Figura 8.

**Figura 8 - Medidas de pH e umidade antes do plantio do milho**



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Conforme observa-se na Figura 8, o pH ficou neutro em todos os solos com gasolina e a umidade também se apresentou constante.

A umidade caracteriza-se como um parâmetro fundamental para biodegradação, pois a quantidade adequada de água é uma das responsáveis por uma boa atividade microbiana. De acordo com Jacques et al. (2007) o seu teor no solo tem relação inversa com a disponibilidade de oxigênio e, conseqüentemente, com a atividade dos microrganismos aeróbios, que são os principais responsáveis pela degradação dos HAPs.

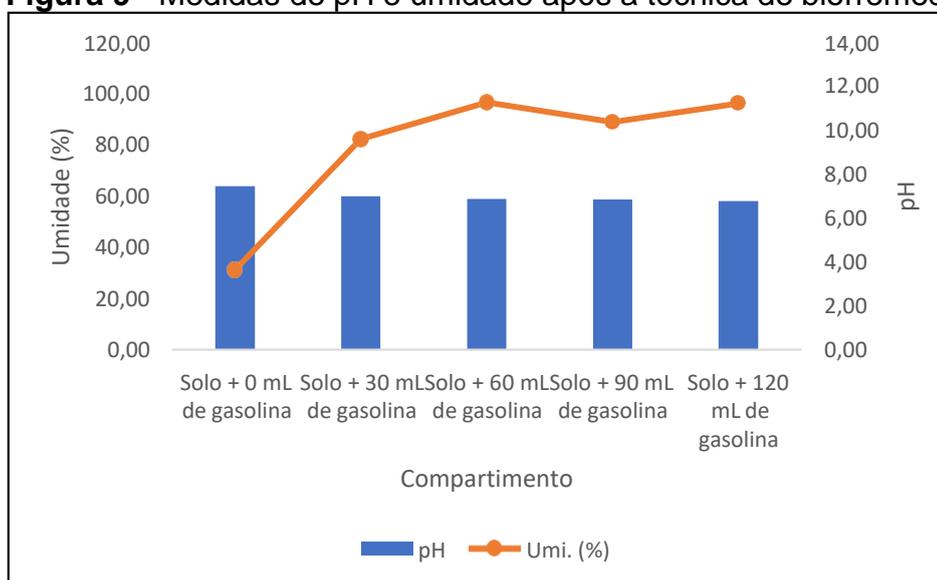
Segundo Marto e Franke (2020) é necessário manter o equilíbrio ótimo entre a umidade e condições de oxigênio entre esses seres aeróbicos, em que este é atingido quando cerca de 60% do espaço poroso do solo está preenchido com água, e cerca

de 40% com ar. Em razão disso, durante o estudo, a umidade do solo no biorreator foi monitorada e ajustada a 60%.

### 5.3 Análise de pH e umidade do solo após a aplicação da técnica de biorremediação utilizando a cultura do milho

Os dados das análises de pH e umidade obtidos após a técnica de biorremediação do solo, estão expressos na Figura 9.

**Figura 9** - Medidas de pH e umidade após a técnica de biorremediação



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

O pH é uma das propriedades físico-químicas do solo mais relatadas por influenciar as diferentes comunidades microbianas que neles habitam (COTTA, 2016). A forma exata como esse parâmetro influencia as atividades dos microrganismos não é conhecida, porém sabe-se que seus valores agem na solubilidade dos minerais no solo, e assim afetam, a disponibilidade de nutrientes (MOREIRA; SIQUIERA, 2002; COTTA, 2016).

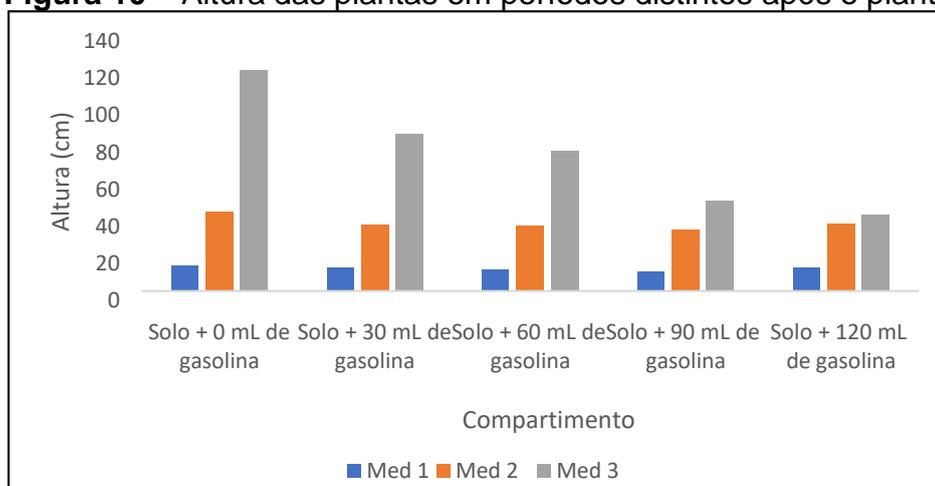
Comparando-se as Figuras 8 e 9, observa-se que ocorreram pequenas variações no pH. A maior parte dos pontos do solo em que a gasolina foi adicionada o pH teve uma redução, e segundo Cavalcante (2018) isso pode ter ocorrido devido ao caráter ácido da formação de metabólitos que foram biodegradados em água e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A pouca alteração do pH ocorreu devido ao curto tempo

entre a adição da gasolina e o plantio de milho. O pH na faixa de 6,8 a 8 indica a presença de bactérias.

#### 5.4 Crescimento e peso das plantas

Crescimento é a expressão utilizada frequentemente para designar as mudanças quantitativas que acontecem durante a vida de uma planta. Isso ocorre em decorrência não somente da divisão celular, mas também da expansão celular. Neste caso, o crescimento das plantas é determinado principalmente por aumento em volume (altura e diâmetro de caules ou área foliar) ou em massa (pesos da matéria verde e seca) (MENDES; LUCENA; MEDEIROS, 2018). As medições do milho foram realizadas em três períodos distintos. Como foram cultivadas duas plantas em cada câmara do biorreator, os dados representados na Figura 10 referem-se a altura média das mesmas.

**Figura 10** – Altura das plantas em períodos distintos após o plantio

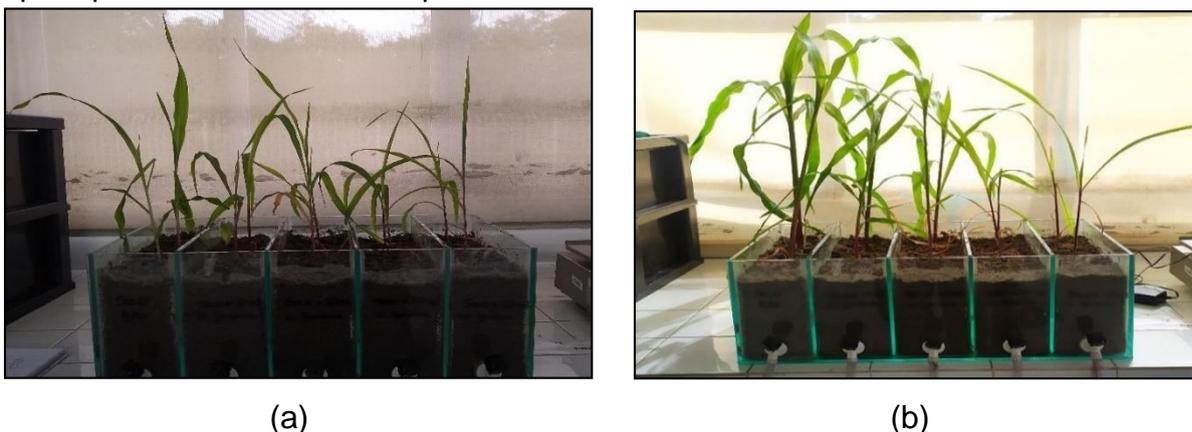


LEGENDA: Med (medição).

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

As fotografias das Figuras 11(a) e 11(b) correspondem as plantas com dez dias e quarenta e seis dias de crescimento após o plantio, respectivamente.

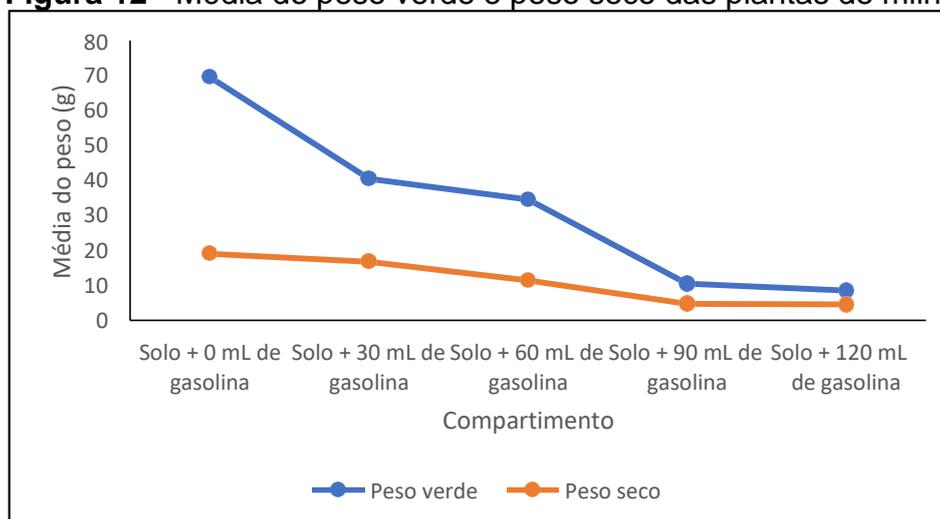
**Figura 11** - (a) Plantas de milho após dez dias de plantio; (b) Crescimento de plantas após quarenta e seis dias de plantio



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

O peso verde ou fresco é o registrado no momento em que a planta é colhida, logo inclui o teor de água. O peso seco é determinado quando o vegetal vai para estufa e toda água contida nele é eliminada, por meio dele é possível determinar o desempenho de cada cultura, os nutrientes contidos nas plantas, entre outras características. A Figura 12 representa a média dos pesos verde e seco das plantas de milho que foram semeadas em cada compartimento do biorreator.

**Figura 12** - Média do peso verde e peso seco das plantas de milho



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Observa-se que a altura das plantas, seus pesos verdes e secos foram inversamente proporcionais ao quantitativo de gasolina utilizada, e de acordo com os estudos de Grifoni et al. (2020) que avaliou os efeitos de hidrocarbonetos residuais no solo após derramamentos de óleo sobre o crescimento do milho (*Zea mays*), esse

comportamento pode não ser atribuído ao acúmulo de hidrocarbonetos nos tecidos vegetais, mas sim em razão da redução da fertilidade do solo.

A maior exigência nutricional de um milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo (COELHO, 2006), sendo o nitrogênio (N) o nutriente que é absorvido em maior quantidade, pois é um constituinte fundamental para proteínas e influencia diretamente no processo fotossintético (MAURI BELLAVER; RICHART, 2020).

Diversos estudos enfatizam a relação do crescimento das plantas de milho com o suprimento de nitrogênio. No trabalho de Repke et al. (2013) relataram que o aumento do teor de N disponibilizado às plantas possibilita o maior crescimento e aumento da área foliar, visto que folhas bem nutridas em N dispõem de maior capacidade de assimilar CO<sub>2</sub> e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, acabando em maior crescimento e duração da área foliar. Caso haja uma deficiência de N poderá agilizar o processo de envelhecimento foliar em virtude do retranslocamento de nitrogênio das folhas mais velhas para os pontos de crescimento, diminuindo a área foliar fotossinteticamente ativa.

Quando gasolina é derramada no solo há uma elevação significativa de matéria orgânica poluente, e caso esta seja suficientemente elevada, ocorre a deficiência de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, que são requeridos em alta demanda (OLIVEIRA, 2015). Sabe-se que o tamanho das plantas é diretamente relacionado com a quantidade de nitrogênio disponível no solo. Quanto mais nitrogênio, maior o crescimento da planta. E nesse trabalho, conforme elevou-se o quantitativo de gasolina no solo, a fração de nitrogênio foi diminuindo e menor foi o desenvolvimento das plantas. Essa deficiência de nitrogênio foi observada visualmente, onde notou-se que nas câmaras que adicionou-se o contaminante, as plantas tiveram menor desenvolvimento, com menos folhas e estas mais claras e caules mais finos se comparada com as plantas do solo puro.

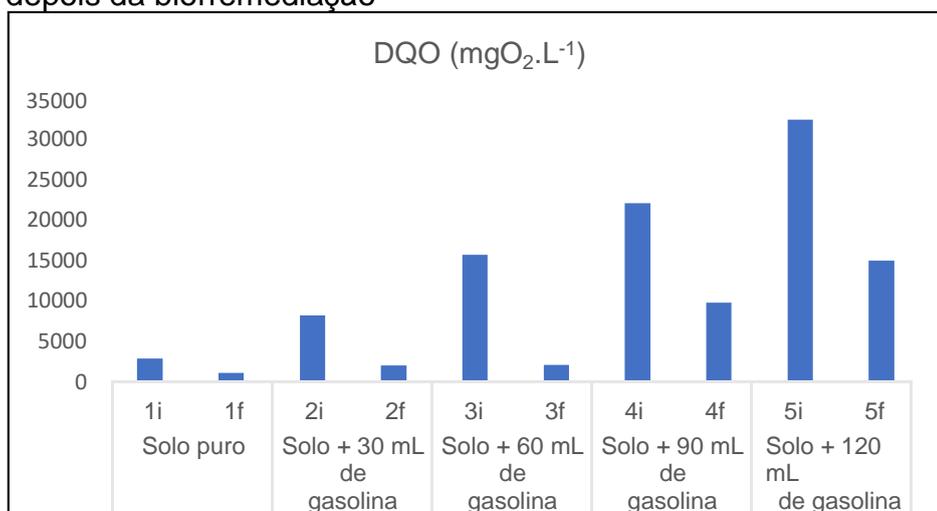
Contudo, foi possível observar que em uma certa faixa de concentração, com 30 mL de contaminante, o milho se desenvolveu bem com valores bem próximos ao do solo puro. De acordo com os resultados do experimento, quantidade de gasolina em um solo próxima ao utilizado no estudo (30 mL), indica que a cultura do milho ainda possa se desenvolver satisfatoriamente. Porém, se faz necessário novos estudos com valores intermediários para se definir até onde a cultura suporta.

Logo, de acordo com a quantidade de gasolina em um solo é provável que a cultura de milho se desenvolva bem.

## 5.5 Demanda química de oxigênio (DQO)

Medidas da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram efetuadas na água que era liberada durante a umidificação do solo, antes e depois do processo de biorremediação, sendo esse parâmetro utilizado como um parâmetro indireto para a avaliação do sistema. Os dados estão representados na Figura 13.

**Figura 13** - Valores de DQO obtidos nas análises da água liberada antes e depois da biorremediação



LEGENDA: i: análise inicial; f: análise final.

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

A elevada redução na DQO indica uma diminuição considerável da matéria orgânica degradável nas amostras de: Solo Puro; Solo + 30 mL gasolina; Solo + 60 mL gasolina; Solo + 90 mL gasolina; Solo + 120 mL gasolina, com eficiência de 63, 76, 87, 56 e 54%, respectivamente.

## 6 CONCLUSÃO

Diante do exposto, foi possível confirmar que com as condições adequadas fornecidas ao biorreator e por meio do controle dos parâmetros fundamentais, a cultura do milho (*Zea mays ssp.*), variedade BRS Gorutuba, mostrou-se eficiente como bioindicador de comprovação da aplicação da técnica de biorremediação *landfarming* na recuperação do solo contaminado com gasolina.

Foi possível concluir que o contaminante gasolina afeta negativamente o desenvolvimento das plantas, uma vez que as quantidades utilizadas se comportaram inversamente proporcionais ao crescimento das plantas à medida em que foram aumentando os teores de gasolina no solo.

Dentre as quantidades de gasolina utilizadas no experimento, o compartimento que continha 30 mL desse contaminante proporcionou o melhor crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, comparando-se com as demais quantidades utilizadas, aproximando-se do compartimento testemunha, que não continha o poluente. Podendo ser comprovado pelos resultados de peso verde e peso seco.

Os resultados das análises de nutrientes e de DQO foram promissores, tendo sido observado um aumento dos nutrientes em praticamente todos os compartimentos do biorreator e remoção de contaminantes, analisados pela DQO, que ocorre em razão da atividade microbiana no processo de biorremediação *Landfarming*. Foi observada a melhor eficiência, 87%, no compartimento com 60 mL de gasolina.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, M.; TASLEEM, S.; KHAN, A. Bioremediation plan for oil contaminated soils. **Bioscience research**, [Karachi]. 2018. ISSN: 2218-3973.
- ALMEIDA, O. E. L. **Recuperação de solo contaminado com rejeito da lavagem de corte de granito utilizando técnica de biorremediação**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB, 2019.
- ANDRADE, J. A. 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.
- ANDRADE, L. N. **Avaliação do uso da oxidação química *in situ* em solos ferríferos para remediação de água subterrânea contaminada pela mistura gasolina/etanol**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2016.
- ANDRADE, L. N.; ARAUJO, S. F.; MATOS, A. T.; HENRIQUES, A. B.; OLIVEIRA, L. C.; SOUZA, P. P.; CHAGES, P.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. Performance of different oxidants in the presence of oxisol: remediation of groundwater contaminated by gasoline/ ethanol blend. **Chemical Engineering Journal**, v. 308, p. 428-437, 2017.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Gasolina**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural>. Acesso 05 out 2022.
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; OLIVEIRA, L.; SOUZA, A. R. L. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá (PR) DOI: 10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540.
- BARCELLA, R. A. **Estudo comparativo entre diferentes técnicas analíticas para determinação da demanda química de oxigênio (DQO) de rios que recebem efluentes**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Química Industrial), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química. Porto Alegre, 2016.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. C. **A Cultura do Milho**. Évora, 2014. 52f. Material de apoio. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/10804>. Acesso em: 08 out. 2022.
- BENTO, J. F. C.; CALADO, J. C. **A cultura do milho**. Material de apoio, Universidade de Évora. Évora, 2014.

BERGER, T. M. **Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos totais de petróleo: enfoque na aplicação do processo Terraferm**. Tese (Doutorado em Ecologia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 86p. 2005.

BISOGNIN, R.P.; LÓPEZ, D. A. R.; MULLER, M. V. G.; RIEGER, A. Análise do potencial microbiano de uma biopilha na biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. **Eng Sanit Ambient**, v.23 n.3, maio/jun 2018 | 517-526. DOI: 10.1590/S1413-41522018152421.

BONACINA, D. Y. **Principais técnicas de biorremediação de áreas contaminadas por glifosato na microrregião de Dourados MS**. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Gabinete da ministra. **Portaria nº 75, de março de 2015**, Brasília, 2015.

CAMPOS, J. O.; MARINHO, J. O.; REINALDO, L. R. L. R. Experimentos como recursos didáticos para educação em solos no ensino de geografia. **Revista Ensino de Geografia**, (Recife) V. 2, Nº. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.38187/regeo2019.v2n1id240694>

CANEPELLE, E.; KERKHOFF, J. T.; WRITZL, T. C.; STEIN, J. E. F.; SILVA, D. M.; REDIN, M. Ciência do solo nas escolas de ensino fundamental e médio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.8, n.3, p.41-50, Setembro, 2018.

CARVALHO, F. I. M.; DANTAS FILHO, H. A. Estudo da qualidade da gasolina tipo A e sua composição química empregando análise de componentes principais. **Química Nova**, v. 37, n. 1, p. 33-38, 2014.

CAVALCANTE, J. C. F. **Aplicação da técnica de biorremediação landfarming para remoção de rejeitos oriundos de processo de adsorção de gasolina**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB, 2018.

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Embrapa Milho e sorgo. (2006). ISSN 1679-1150.

CONAB. **Boletim Safra de grãos: 1º Levantamento - Safra 2022/23**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 15 out 2022.

CONAB. **Safra 2022/23: Produção de grãos pode chegar a 308 milhões de t impulsionada pela boa rentabilidade de milho, soja e algodão. 2022**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4731-safra-2022-23-producao-de-graos-pode-chegar-a-308-milhoes-de-toneladas-impulsionada-pela-boarentabilidade-de-milho-soja-e-algodao>. Acesso em: 15 out 2022.

COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. In: **Microbiologia do Solo**. 2ª edição. Piracicaba, São Paulo, 2016.

COUTINHO, P. W. R.; CADORIN, D. A.; NORETO, L. M.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Alternative Soil Remediation: Boremediation And Phytoremediation. **Nucleus**. v. 12. P 59-68, 2015.

DELLA-FLORA, I. K. **Remediação de solo contaminado com uma mistura comercial de diesel-biodiesel (b12): uma avaliação em microcosmos dos efeitos da adição de compostos (in)orgânicos**. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis), Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2021.

EMBRAPA. **Milho BRS Gorutuba**. 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6329/milho-brs-gorutuba>. Acesso em: 15 out 2022.

EMBRAPA. **Milho BRS Gorutuba**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Embrapa Milho e Sorgo. (2010). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6329/milho-brs-gorutuba>. Acesso em: 10 out 2022.

EUZÉBIO, C. S.; RANGEL, G. S.; MARQUES, R. C. Derramamento de petróleo e seus impactos no ambiente e na saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n.52, jun 2019, 79-98 - ISSN 2176-9478. DOI: 10.5327/Z2176-947820190472.

FILHO, I. N.; VIECELI, N. C.; CARDOSO, E. M.; LOVATEL, E. R. Analysis of BTEX in Experimental Columns Containing Neat Gasoline and Gasoline-Ethanol. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, n. 3, p.410-417, 2013.

FINOTTI, A. R.; TEIXEIRA, C. E.; FERIZZI, F.; CALGLIARI, J.; NASCIMENTO, F. I. Avaliação da influência do etanol sobre o grau de volatilização BTEX em solos impactados por derrames de gasolina/etanol. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 443-448, 2009.

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

GABARDO, I. T. **Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar**. Tese (Doutorado em Química), Programa de pós-graduação em química. Natal – RN, 2007.

GAUR, N.; FLORA, G.; YADAV, M.; TIWARI, A. A review with recent advancements on bioremediation-based abolition of heavy metals. **Environ. Sci. Process. Impacts**. 16 (2), 180–193. 2013.

GAUTO, M. **Petróleo e gás: princípios de exploração, produção e refino**. Porto Alegre, Bookman Editora LTDA, 2016.

GAYLARD, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Aspectos biológicos e técnicas da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 8, n. 34, jan./jun. 2005.

GRIFONI, M.; ROSELLINI, I.; ANGELINI, P.; PETRUZZELLI, G.; PEZZAROSSA, B. The effect of residual hydrocarbons in soil following oil spillages on the growth of Zea mays plants. (2020). **Environmental Pollution**, 114950. doi:10.1016/j.envpol.2020.114950

GUARACHI, V. V.; PONTE, M. J. J. S.; ADAMOSKI, L. F. **Remediação eletrocinética de chumbo e níquel em solos de landfarming de uma refinaria**. In: ICTR – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

GUARACHO, V. V.; PONTE, M. J. J. S.; ADAMOSKI, L.F. **Remediação eletrocinética de chumbo e níquel em solos de landfarming de uma refinaria**. (2005). In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – ICTR, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental – NISAM, USP.

HAIDER, K. Microbe-soil-organic contaminant interactions. In: ADRIANO, D.C.; BOLLAG, J.M.; FRANKENBERGE JUNIOR, W.T.; SIMS, R.C. (Ed.). *Bioremediation of contaminated soils*. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. p.33-51.

HAMDI, H.; BENZARTI, S.; MANUSADZIANAS, L.; AOYAMA, I.; JEDIDI, N. Bioaugmentation and bioestimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p. 1926-1935, 2007.

JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. O. C. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, ISSN 0103-8478, v. 37, n. 4, p. 1192-1201. Santa Maria, RS, 2007.

JÚNIOR, F. M. R. S. "De olho no que pisa": os perigos da contaminação do solo. **Rev Pan-Amaz Saude** 2017; 8(4):19-21. Doi: 10.5123/S2176-62232017000400005.

LACERDA, F.; NAVONI, J. A.; AMARAL, V. S. **Biorremediação: educação em saúde e alternativas à poluição ambiental**. Editora IFRN. Natal – IFRN, 2019. 80p. ISBN: 978-85-94137-78-4.

LEITE, B. J. M. S.; ANTUNES, A. F. N. R. Mapeamento de regiões de susceptibilidade de contaminação por hidrocarbonetos provenientes de postos de revenda de combustíveis em João Pessoa - Paraíba. **Revista Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas**, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v35i1.30036>.

LEONEL, L.V.; NASCIMENTO, E. G.; BERTOZZI, J.; BÔAS, L. A. V.; BÔAS, G. T. V. Biorremediação do solo. **Revista terra e cultura** – Nº 51 - Ano 26 - Julho a

Dezembro de 2010.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.1-64.

MAIA, C. P.; SILVA, J. C. M. D.; PERES, M. C. L. R. **Lixo Offshore: o descarte de resíduos produzidos pelas plataformas e navios petroleiros na Bacia de Campos**. 2015. 5 f. Curso de Técnico em Meio Ambiente, Instituto Federal Fluminense, Guarus, 2015.

MARCHAND, C.; ST-ARNAUD, M.; HOGGLAND, W.; BELL, T.H.; HIJRI, M. (2017) Petroleum biodegradation capacity of bacteria and fungi isolated from petroleum-contaminated soil. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 116, p. 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.030>

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético), Programas de pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2001.

MARTINS, C. P. **Avaliação da biodegradação de compostos BT da gasolina, com e sem a adição de etanol, em solos residuais de gnaiss por meio de ensaios em colunas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 124 p. Viçosa, MG, 2015.

MARTO, F. N. S.; FRANKE, S.C. **Influência dos fatores abióticos no microbioma do solo**. GMicS. 2020. Disponível em: <http://gmicsesalq.com.br/influencia-dos-fatores-abioticos-no-microbioma-do-solo/#:~:text=Influ%C3%Aancia%20da%20umidade,com%20a%20temperatura%20e%20aera%C3%A7%C3%A3o> . Acesso 18 set. 2022.

MATOS, M. P. S. R. **Utilização de nanomateriais na descontaminação de solos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na Especialidade de Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciência e Tecnologia -FCTUC. Coimbra, 2016.

MAURI, V. N.; BELLAVER, M.; RICHART, A. Doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no milho segunda safra cultivado em Latossolo Vermelho. **Revista cultivando o saber**, ISSN 2175-2214 Volume 13 - n° 3, p. 21 a 35. (2020).

MELO, R. F.; OLIVEIRA, A. R.; SIMÕES, W. L.; SANTOS, M. L. S. Desenvolvimento e produtividade do milho BRS Gorutuba sob diferentes lâminas de irrigação e adubação orgânica. **Revista Científica Intelletto**, Venda Nova do Imigrante, ES, Brasil v.3, n.1, 2018 p. 1-14, ISSN 2525-9075 on-line.

MENDES, R. M. S.; LUCENA, E. M. P.; MEDEIROS, J. B. L. P. Princípios de fisiologia vegetal. 2ª edição. Fortaleza – CE. EdUCE. 126p.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v.74, n.829, p.24-27, 2018.

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, 2002.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. ABES, 4ª ed., 388 p. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

MUTECA, F. L. L.; **Biorremediação de solo contaminado com óleo cru proveniente de Angola**. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NARDINO, M.; BARRETA, D.; CARVALHO, I. R.; FOLLMANN, D. N.; FERRARI M.; PELEGRIN, A. J.; SZARESKI, V. J.; KONFLANZ, V. A.; SOUZA, V. Q. Divergência genética entre genótipos de milho (*Zea mays* L.) em ambientes distintos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 164-174, 2017.  
<http://dx.doi.org/10.19084/RCA16013>.

NICOLAU, P. B. **Microrganismos e crescimento microbiano**. Universidade Aberta – UAB. 2014.

OLIVEIRA, N. M. **Biorremediação de solos contaminados com gasolina pura, gasolina comercial e etanol**. Tese de doutorado (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2015.

PAUDYN, K.; RUTTER, A.; ROWE, R. K.; POLAND, J. S. Remediation of hydrocarbon contaminated soils in the Canadian arctic by Landfarming. **Cold Regions Science and Technology**, p.1-13, 2008.

PINHEIRO, L. S.; GATTI, V. C. M.; OLIVEIRA, J. T.; SILVA, J. N.; SILVA, V. F. A.; SILVA, P. A. Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v.11, n.2, p.13-21, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2021.002.0003>

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI M, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p.  
REPKE, R. A.; CRUZ, S. J. S.; SILVA, C. J. D.; FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J. Eficiência da *Azospirillum* brasileira combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, p.214-226, 2013.

RIBEIRO, C. B.; SCHIRMER, W. N. Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol. **BIOFIX**

**Scientific Journal** v. 2, n. 2, p. 16-22, 2017.

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. **Série Tecnologia Ambiental, STA – 37**. Centro de Tecnologia Ambiental, CETEM, 61 p., 2006.

ROCHA, D. L.; CUNHA, C. D.; RIZZO, A. C. L.; SÉRVULLO, E. F. C. Remediação e biorremediação de solos multicontaminados com hidrocarbonetos e metais com ênfase na aplicação de surfatantes e biosurfatantes. Rio de Janeiro: **CETEM/MCTIC**, 2016. 58p.: il. (Série Tecnologia Ambiental, 95). ISBN – 978-85-8261-066-4.

SANTOS, A. S.; MORENO, T. F.; CAVALCANTE, L. C. V.; AMORIM, E. L. C.; COELHO, D. G. Estudo do processo de biorremediação em solos impactados por derramamento de petróleo. **Diversitas Journal**. Santana do Ipanema/AL. vol. 6, n. 1, p.823-835, jan./mar. 2021.

SILVA, L. J. **Processo de Landfarming para tratamento de resíduos oleosos**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Programa de pós-graduação Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 106 p. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

SILVA, L. R. C. **Desastre ambiental causado por derramamento de petróleo no litoral do Ceará: um estudo sobre o ambiente, a saúde e o trabalho de pescadores e pescadoras artesanais**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

SILVA, M. A. L. A. **Características químicas da biodegradação aeróbica acelerada a partir do reaproveitamento de resíduos de alimentos**. Monografia (Licenciatura em Química), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG. Inhumas – Goiás, 2022.

SILVA, P. K. O. S.; MESQUITA, M. V. Avaliação do processo de remediação em área contaminada por hidrocarboneto. **Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada**, V.2, N.1, 2018. DOI: 10.33947/2595-6264-v2n1-3497.

SILVA, W. T. L.; MARTELLI, L. F. A.; ALMEIDA, T. L.; MILORI, D. M. B. P.; MARTINETO, L. **Contaminação do solo: aspectos gerais e contextualização na química ambiental**. In: Livro meio Ambiente e Sustentabilidade, 2012.

SILVEIRA, B. D. A. **Recuperação de solo contaminado com petróleo pela técnica da bioestimulação**. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade), Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, Mossoró – RN, 2016.

SIMS, R.C.; SIMS, J.L. Landfarming of petroleum contaminated soils. In: ADRIANO, D.C. et al. (Ed). **Bioremediation of contaminated soils**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. p.767- 782.

SOUSA, V. F. A cultura do milho-verde e sua importância socioeconômica. In: **Cultivo do milho-verde irrigado na Baixada Maranhense**. Documento 6, Embrapa Cocais, 2020. São Luís, MA. P. 15-19.

SOUZA, D. T. **Remediação de solo contaminado com gasolina via processo tipo-fenton e avaliação da fitotoxicidade**. Dissertação (Mestrado em química aplicada), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2017.

TOMASONI, E.; ARAÚJO, J. S.; JERÔNIMO, C. E. M. **Processo de biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos pela técnica de landfarming utilizando esgoto sanitário**. In: Congresso ABES FENASAN, 2017.

VARJANI, S.J.; UPASANI, V.N. Biodegradation of petroleum hydrocarbons by oleophilic strain of *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514. **Bioresource Technology**, v. 222, p. 195-201, 2016. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.10.006.

VIDALI, M. Bioremediation. An overview. **Pure Appl. Chem.**, 73:1163-1172, 2001.

VIEIRA, F. C. S. **Toxicidade de Hidrocarbonetos Monoaromáticos do Petróleo sobre *Metamysidopsis elongata atlantica* (Crustacea: Mysidacea)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.