

**INSTITUTO FEDERAL**  
**GOIANO**  
Câmpus Rio Verde

**ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA TOLERÂNCIA E DAS RESPOSTAS  
MORFOANATÔMICAS DO SORGO SOB EFEITO DE ÓLEO  
DIESEL**

**IZADORA ANDRADE GONÇALVES**

**Rio Verde, GO**

**2024**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
ENGENHARIA AMBIENTAL

**ANÁLISE DA TOLERÂNCIA E DAS RESPOSTAS  
MORFOANATÔMICAS DO SORGO SOB EFEITO DE ÓLEO DIESEL**

**IZADORA ANDRADE GONÇALVES**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

Rio Verde – GO  
Dezembro, 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

Gonçalves, Izadora Andrade

G635a Análise da tolerância e das respostas morfoanatômicas do sorgo sob efeito de óleo diesel / Izadora Andrade Gonçalves ; orientador Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho. -- Rio Verde, 2024.  
32 f.

TCC (Bacharelado em Engenharia Ambiental) --  
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 11/2024 - CCLCB-RV/GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

### ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos vinte e nove dias do mês de novembro de 2024, às 20 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho (Orientador), Jaqueline Martins Vasconcelos (membro), Wilker Alves Moraes, (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Análise da Tolerância e das Respostas Morfoanatômicas do Sorgo Sob Efeito de Óleo Diesel" da estudante Izadora Andrade Gonçalves, Matrícula nº 2016102200740143 do Curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

*(Assinado Eletronicamente)*

Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

Orientador

*(Assinado Eletronicamente)*

Jaqueline Martins Vasconcelos

Membro

*(Assinado Eletronicamente)*

Wilker Alves Moraes

Membro

**Observação:**

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Sebastiao Carvalho Vasconcelos Filho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/12/2024 10:45:21.
- Wilker Alves Morais, 2017102344060001 - Discente, em 02/12/2024 15:15:14.
- Jaqueline Martins Vasconcelos, Professora - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, em 02/12/2024 17:23:08.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 29/11/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 656576

Código de Autenticação: e11e1e8449



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

<input type="checkbox"/> Tese (doutorado) <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) <input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: <input style="width: 300px;" type="text"/>	<input type="checkbox"/> Artigo científico <input type="checkbox"/> Capítulo de livro <input type="checkbox"/> Livro <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento
Nome completo do autor: <input style="width: 500px;" type="text" value="IZADORA ANDRADE GONCALVES"/>	
Matrícula: <input style="width: 150px;" type="text" value="2016102200740143"/>	
Título do trabalho: <b>Análise da Tolerância e das Respostas Morfoanatômicas do Sorgo Sob Efeito de Óleo Diesel</b>	

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano:  /  /

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 **IZADORA ANDRADE GONCALVES**  
 Data: 11/12/2024 22:13:40-0300  
 Verifique em <https://validar.ifgoiano.gov.br>

/  /   
 Local Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 **SEBASTIÃO CARVALHO VASCONCELOS FILHO**  
 Data: 12/12/2024 08:57:03-0300  
 Verifique em <https://validar.ifgoiano.gov.br>

## RESUMO

GONCALVES, Izadora Andrade. **Análise da Tolerância e das Respostas Morfoanatômicas do Sorgo Sob Efeito de Óleo Diesel**. 2024. 31p. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2024.

A contaminação do solo por petróleo, seus derivados, e componentes tóxicos presentes nos mesmos acarretam diversos impactos negativos ao meio, e prejuízos à saúde humana. A fitorremediação representa uma alternativa na remoção destes compostos nos solos. Objetivou-se assim, avaliar por meio de parâmetros biométricos e anatômicos, sintomas provocados pela ação do óleo diesel em *Sorghum bicolor* L., para compreender sua capacidade tolerante. Para isso, utilizou-se a cultivar SHS 570 Astral, em vasos de 5L e submetidas as diferentes concentrações do óleo, sendo: 0 (controle), 5, 10, 15 e 20 g kg<sup>-1</sup>, com total de 5 tratamentos e 4 repetições. Foram realizadas análises de altura e diâmetro do colmo, após 15 e 23 dias de cultivo, além disso foram analisados dados micromorfométricos acompanhados de histolocalização de compostos fenólicos nas estruturas anatômicas. Constatou-se pelo teste de Dunnett à 1% de probabilidade, que há diferenças para as variáveis altura (15 e 23 dias), diâmetro (15 dias), e de massa seca da parte aérea. Os resultados micromorfométricos apontam redução da espessura de folha, mesofilo, epiderme adaxial e abaxial, e das células buliformes, e a partir das imagens obtidas em microscópio óptico foi possível notar o acúmulo de compostos fenólicos e de grãos de amido com o aumento da dosagem de contaminante. Pela reação da planta, conclui-se que o sorgo não foi tolerante as dosagens utilizadas neste experimento.

**PALAVRAS-CHAVES:** Tolerância; sorgo; hidrocarbonetos contaminantes; poluição do solo.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> - Tipo de produto por acidente registrado no Brasil (1984 a 2014).....	6
<b>Figura 2</b> – Massa seca parte aérea .....	13
<b>Figura 3</b> – Prancha Anatômica .....	16
<b>Figura 4</b> – Avaliações Micromorfométricas.....	18

**LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Conama	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
OCDE	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISAO DE LITERATURA .....	2
2.1	Contaminação Ambiental por Derivados de Petróleo .....	2
2.2	Óleo Diesel .....	5
2.3	Técnicas de Remediação .....	7
2.4	Fitorremediação.....	8
2.5	Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) .....	9
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1	Cultivo e Aplicação dos Tratamentos.....	10
3.2	Caracterização Biométrica.....	10
3.3	Caracterização Morfoanatômica Foliar .....	10
3.4	Histolocalização de Compostos Fenólicos .....	11
3.5	Análise Estatística .....	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
4.1	Resultados Biométricos .....	12
4.2	Caracterização Anatômica Foliar e Compostos Fenólicos.....	14
4.3	Avaliações Micromorfométricas .....	17
5	CONCLUSÕES .....	19
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19

## 1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente é constantemente afetado por contaminantes, e um dos mais perigosos e recorrentes são os óleos e outros derivados de petróleo, como o diesel, que podem causar danos irreversíveis ao ambiente, em especial ao solo e lençóis freáticos, desde o processo de extração, transporte, até o armazenamento. Os combustíveis a base de petróleo podem conter HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) que causam malefícios à saúde humana, fauna e flora do ambiente, além disso são persistentes, ou seja, de difícil degradação (HUANG *et al.*, 2019).

O óleo diesel é um dos principais produtos derivados de petróleo consumidos no Brasil, sendo utilizado como combustível para ônibus, máquinas agrícolas, geradores elétricos, entre outros. É comercializado em grande escala nos postos de combustíveis, estando suscetível a acidentes envolvendo contaminação, seja por falha na descarga de combustível, defeitos ou corrosão em tanques de armazenamento e tubulações.

Com o crescente processo de industrialização, problemas ligados à poluição ambiental se agravaram, fazendo com que a preocupação ambiental se tornasse de suma importância, juntamente a necessidade da conscientização quanto à restrição de lançamentos indiscriminados de poluentes nos solos, rios, lagos, oceanos e na atmosfera. Além disso tornam-se mais relevantes investimentos em desenvolvimento de tecnologias de remediação, diante a variedade de impactos negativos causados.

A fitorremediação é uma técnica usada para despoluir áreas contaminadas por meio da utilização de plantas e sua microbiota associada. Sendo a fitorremediação de baixo custo e com manutenção mínima uma vez que a comunidade de remediação é estabelecida, esta técnica é uma opção a ser considerada para a descontaminação dos solos poluídos, sendo também um processo mais barato, rápido e acessível quando comparado a outras técnicas de remediação *ex-situ* do solo (SHARMA; PANDEY, 2014). Todavia, é preciso entender a capacidade tolerante da espécie vegetal sob os efeitos tóxicos causados pelo poluente a ser tratado.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), é uma planta xerófita, típica de clima quente, que exige baixa fertilidade de solo e possui alta tolerância a estresses abióticos (GUIMARÃES *et al.*, 2016). É comumente utilizada para fabricação de ração, fibra, alimentos, e como matéria prima no setor energético com a produção de bioetanol, ou queima da biomassa em caldeiras para geração de energia térmica em processos produtivos de indústrias. Alguns estudos feitos por Abou-Elwafa, Amin e Shehzad (2019) elucidam o potencial do sorgo como fitorremediador de solos contaminados por metais pesados.

Desta forma, espera-se identificar e compreender como o sorgo reage ao estresse causado pelo óleo diesel, para assim testar sua resistência e/ou verificar os possíveis sintomas decorrentes da ação fitotóxica, de acordo com as diferentes dosagens do poluente. Estes possíveis sintomas podem ser: sintomas visuais como cloroses e necroses nas folhas, alterações no crescimento das plantas, combinados com as alterações anatômicas, como colapso das células do parênquima paliçádico e esponjoso, modificação na espessura da cera epicuticular, e redução da área foliar

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é determinar o potencial fitorremediador do sorgo, em solos contaminados com óleo diesel, a fim de aprimorar a fundamentação teórica acerca do potencial desta espécie na recuperação de solos contaminados.

## **2 REVISAO DE LITERATURA**

### **2.1 Contaminação Ambiental por Derivados de Petróleo**

O crescimento populacional aliado ao desenvolvimento industrial das últimas décadas, movido pelo modelo econômico atual, acarretam impactos negativos ao ar, solo e águas (PORTO, 2014). Uma das consequências das alterações antrópicas causadas ao meio ambiente é a contaminação ambiental, que de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, nº 420 de 2009, é definida como:

Presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico (BRASIL, 2009).

No Brasil, a descarga de óleo, misturas oleosas e lixo em águas é proibida, segundo a Lei nº 9.966 de abril de 2000, que trata sobre “a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional” (BRASIL, 2000a). Entretanto devido a comercialização em larga escala de petróleo e seus produtos derivados, o meio ambiente se torna suscetível a acidentes, desde a extração, refinaria, transporte e armazenamento (SAFEHIAN, RAJABI e GHASEMZADEH, 2018).

Vale ressaltar alguns dos grandes acidentes envolvendo contaminação por petróleo e seus derivados, como o vazamento de aproximadamente 40 milhões de litros de óleo do navio petroleiro Exxon Valdez, no ano de 1989, no Alasca, que causou grande impacto à flora e a

fauna locais, e acabou se tornando símbolo de acidentes ambientais na época (LIMA, 2010). No Brasil, um dos acidentes mais marcantes foi o derramamento de 1,3 milhões de litros de óleo na Baía de Guanabara no ano de 2000 (ACSELRAD; MELLO, 2002), ocasionando impactos ao ecossistema marinho, aos pescadores e ao turismo local.

Um acidente mais recente ocorrido no Brasil, foi o derramamento de óleo bruto na costa e na região litorânea, no final de agosto de 2019, que foi considerado um dos maiores do mundo em extensão. Nos manguezais e praias do Espírito Santo, houve um fator adicional de impacto negativo, proveniente da soma de contaminantes tóxicos, trazidos anteriormente pelo arraste da lama da barragem de Mariana, com os compostos químicos persistentes trazidos pelo derramamento de petróleo (PENA *et al.*, 2020). Apesar deste último derramamento não ser oriundo de atividades da Petrobrás, a mesma contribuiu de forma significativa na limpeza de praias no Nordeste brasileiro, com a coleta de mais de 500 toneladas de resíduos, distribuição de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual) para os voluntários, e auxílio com monitoramento aéreo, marítimo e remoto (PETROBRAS, 2020).

Costa (2023) reforça o princípio da necessidade de uma equipe multidisciplinar para atender o tripé do desenvolvimento sustentável, onde a partir de um diagnóstico das áreas de risco seja possível criar um banco de dados que facilite o monitoramento dos recursos, e que forneça ainda dados para os sistemas de saúde nacionais, ampliando, assim, o debate social acerca dos riscos e dos impactos na saúde das comunidades adjacentes a essas áreas sujeitas aos impactos negativos da contaminação por derivados de petróleo.

Dantas (2015), analisou 108 casos registrados de acidentes envolvendo contaminação por derivados de petróleo sob corpos hídricos no Brasil, entre os anos 1984 e 2014, e constatou que as principais causas relatadas nos registros foram relacionados ao transporte em oleodutos, como falha no duto, vazamentos em geral, rupturas em equipamentos, transbordamento de produto e falhas operacionais. Algumas outras causas menos relatadas foram: atos criminosos, falhas mecânicas e manutenção. Em casos de derramamento de óleo em águas brasileiras, a mesma é considerada imprópria, podendo ter trechos interditados, de acordo com a resolução CONAMA nº 274, que trata sobre critérios de balneabilidade das águas (BRASIL, 2000b).

Quanto as fontes poluidoras do solo, de acordo com a Resolução nº 273 do CONAMA, “toda instalação e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis, configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais” (BRASIL, 2000c). Desta forma, avaliações de passivos ambientais de atividade de posto de combustíveis, além de monitoramento do sistema e de toda instalação são essenciais para evitar possíveis acidentes envolvendo vazamentos (ARADO *et al.*, 2015), e

contaminações, por falhas na descarga de combustível, defeitos ou corrosão em tanques de armazenamento e problemas em tubulações (CARDOSO *et al.*, 2017).

O monitoramento é previsto pela Resolução CONAMA N° 319 de 2002, por meio da obrigatoriedade de avaliações do sistema de armazenamento e de distribuição de combustíveis automotivos, a cada cinco anos, pelo Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade, para assim comprovar a inexistência de falhas e/ou vazamentos nos equipamentos (BRASIL, 2002). Ainda sobre a resolução do CONAMA n° 273, de acordo com o Art. 8, e com o órgão ambiental local licenciador, em casos de acidentes envolvendo óleos e combustíveis, os responsáveis e/ou proprietários dos postos revendedores, deverão tomar medidas de controle emergencial da situação (BRASIL, 2000c).

No solo, por meio dos mecanismos de retenção das partículas, os derivados de petróleo podem ser infiltrados ou retidos nos poros, ou podem ser adsorvidos pela superfície da partícula de solo (LIMA, 2010). Fatores como umidade, textura do solo, e teor de matéria orgânica, influenciam a penetração, infiltração e adsorção dos hidrocarbonetos no solo. Já a toxicidade do contaminante depende do tempo de exposição, da frequência, do comportamento e suscetibilidade dos organismos (PIMENTEL, 2009).

As consequências de contaminações causadas por derivados de petróleo podem ser influenciados por fatores externos e fatores bióticos locais, dependendo do habitat atingido, da quantidade de contaminante lançada ao local, das espécies vegetais e animais atingidas, das condições de precipitação, relevo, compactação do solo, cobertura vegetal, clima, duração da exposição ao agente contaminante, e o fator decisivo de escolha dos métodos a serem utilizados para contenção da poluição e descontaminação do ambiente (ROSA, 2006).

Acidentes causados por derramamentos, lançamentos indevidos, ou vazamentos de petróleo motivaram a busca por mais técnicas de remediação, para evitar maiores impactos e consequências ao equilíbrio ambiental, uma vez que os óleos podem ser permanentes na cadeia alimentar, e causar danos físicos, psicológicos, além de efeitos genotóxicos (AGUILERA *et al.* 2010). De acordo com a Lei n° 9.478 de agosto de 1997, mais conhecida como Lei do Petróleo, cabe a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) incentivar e estimular pesquisas para desenvolvimento de novas tecnologias em todos os processos da cadeia produtiva de petróleo, desde a exploração, na produção, nas etapas de transporte, refinaria e processamento (BRASIL, 1997).

Campos, Luna e Quintella (2018) realizaram um mapeamento científico, a partir de artigos publicados entre 1991 e 2017, e observaram aumento no número de publicação de

artigos referentes a contaminação do meio ambiente causada por derivados de petróleo, corroborando com o ideal de desenvolvimento científico nesta área ambiental.

## 2.2 Óleo Diesel

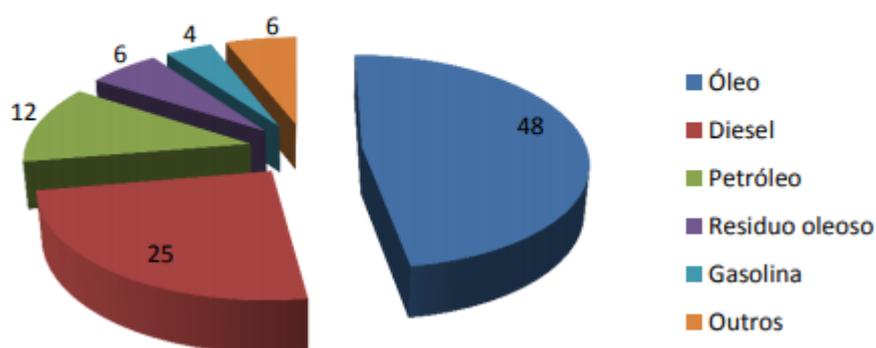
O petróleo, a partir de processos de refinaria, e separação, é fonte e matéria-prima para produção de diferentes frações comerciais, em função da quantidade de átomos de carbono e pelo ponto de ebulição. Dentre os principais derivados comercializados no Brasil, podem-se citar: os combustíveis como gasolina e óleo diesel, solventes e querosene, Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e parafina (SILVA, 2018).

O óleo diesel, em sua composição química, possui entre 13 a 18 carbonos, e é um combustível usado no país principalmente em transporte rodoviário e aquaviário, em motores do ciclo diesel, e em máquinas de setor agrícola, mas também pode ter outros usos como em termoelétricas, para aquecimento, e geradores de energia domiciliares (ANP, 2016).

Além disso, o óleo diesel, pode ter obrigatoriamente, até 15% de seu volume sendo biodiesel (produzido com óleos vegetais ou gorduras animais) adicionado ao óleo diesel automotivo, e posteriormente vendido ao consumidor final após a realização de testes para validar a mistura, de acordo com a Lei 13.263, de março de 2016 que estabelece aos valores percentuais de adição obrigatória de biodiesel no óleo diesel comercializado no território brasileiro (BRASIL, 2016).

Em um levantamento realizado por Dantas (2015), dos casos registrados de acidentes, envolvendo indústrias petroquímicas em corpos hídricos, em um período de 30 anos (entre 1984 e 2014), o diesel aparece como segundo maior tipo de produto derramado, atrás somente da categoria “óleo”, que engloba diferentes tipos de óleo, dentre eles, óleo bruto, óleo combustível, e óleo lubrificante, observa-se na **Figura 1** os principais contaminantes identificados nos registros dos acidentes.

## Tipos de produto e frequência



**Figura 1** - Tipo de produto por acidente registrado no Brasil (1984 a 2014).  
**Fonte:** DANTAS (2015)

Segundo Mazzuco (2004), o óleo diesel é composto por HPAs, compostos orgânicos encontrados no petróleo, e que possuem de dois a sete anéis benzênicos, como por exemplo: o naftaleno, acenafitileno, antraceno, fluoreno, benzo(a)pireno, fenantreno, entre outros (RIZZO *et al.*, 2007; SILVA, 2018). Os HPAs podem ser utilizados em análises de monitoramento da qualidade dos solos, uma vez que os mesmos são menos afetados por intemperismo, possuem baixa solubilidade em água, e recalcitrância, o que os tornam contaminantes persistentes no meio (MARIANO *et al.*, 2008; CERNIGLIA, 1992).

A CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), elaborou em 2005 uma lista de Valores Orientadores, com concentrações de substâncias, visando a conservação da qualidade de solo e águas subterrâneas, esta lista foi utilizada para elaboração da tabela de Valores Orientadores da Resolução CONAMA 420 (BRASIL, 2009; CETESB, 2005). A 4ª edição da série foi publicada pela CETESB em 2016, e é um instrumento legal vigente atualmente no estado de São Paulo (CETESB, 2019).

A Lista de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas de 2016, prevê o Valor de Prevenção (VP) para alguns dos HPAs presentes no óleo diesel, mais especificamente: o antraceno; benzo(a)antraceno; benzo(b)fluoranteno; benzo(k)fluoranteno; benzo(g,h,i)perileno; benzo(a)pireno; criseno; dibenzo(a,h)antraceno; fenantreno; indeno(1,2,3-c,d)pireno; naftaleno (CETESB, 2016). De acordo com a CONAMA 420, os VPs representam “a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais” (BRASIL, 2009).

### 2.3 Técnicas de Remediação

As técnicas de remediação de solos contaminados por derivados de petróleo, podem ser divididas em três grandes nichos: físico, químico e biológico. A remediação química pode ocorrer por exemplo, por meio de oxidação química *in-situ*, onde produtos químicos são inseridos no solo contaminado, e provocam reações que oxidam ou reduzem os compostos químicos do contaminante (ANDRADE, AUGUSTO e JARDIM, 2010).

Segundo Roehrig (1991) a técnica mais utilizada nas décadas de 80 e 90, para remediação de solos contaminados por compostos voláteis era a EVS (Extração de Vapores do Solo), por meio de remoção física, com vácuo provocado em um poço, e transferência da fase líquida e sólida para vapores, esta técnica depende da porosidade do solo, e após a realização do processo, a microbiota local é afetada. É válido ressaltar que esta técnica é adequada apenas para a zona não saturada do solo, onde há poros preenchidos por ar, e além disso, após extração dos gases, os mesmos devem passar por processos de tratamento, antes de seu lançamento no meio (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010).

De acordo com Mazzuco (2004), durante o processo de biodegradação de hidrocarbonetos de petróleo, por microorganismos, ocorre uma reação de oxi-redução, onde os hidrocarbonetos são oxidados por agentes como oxigênio, sulfato ou dióxido de hidrogênio. Os processos naturais de atenuação (diluição e dispersão) também auxiliam na diminuição da concentração dos contaminantes no solo, por meio de transformações, destruição ou contenção do poluente.

Para o procedimento de biorremediação *in situ*, é necessário selecionar microorganismos, de acordo com sua capacidade de degradar os contaminantes, de colonizar e também levar em consideração fatores externos que interferem nas condições adequadas para a manutenção da população (disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes nas camadas de solo, temperatura e pH), com isso, os HPAs são então degradados, e transformados em substâncias inertes (JACQUES *et al.*, 2007; MARIANO; ANGELIS; BONOTTO, 2007). Kadri *et al.* (2017) verificou a eficiência da biodegradação de HPAs, e sua transformação em formas menos prejudiciais, por enzimas de fungos, de forma sustentável e ecológica.

Segundo Jacques *et al.* (2007), para selecionar a melhor e mais adequada técnica de remediação, de acordo com as características do solo e do contaminante, é preciso levar em consideração: “variáveis como investimento inicial e de operação, volume de solo tratado, tempo de remediação, dependência de condições ambientais, aceitação pública e impacto ambiental”, visando o menor impacto ambiental, e maior custo benefício.

## 2.4 Fitorremediação

A fitorremediação combina conhecimentos de fisiologia vegetal com as características do solo e a composição química dos contaminantes, para tratar áreas contaminadas, numa interação entre planta, microbiota associada, poluente e solo (COUTINHO *et al.*, 2015). Esta técnica tem por objetivo a reabilitação e recuperação da estrutura do solo, e como vantagens, também auxilia no aumento da cobertura vegetal local, no sequestro de carbono, melhora a porosidade do solo, facilitando a infiltração da água, reduzindo processos erosivos, e mantém a fertilidade do solo (SAMPAIO, 2015). Apesar de depender de condições de clima, características prévias do solo, tempo de cultivo da espécie vegetal, e de um longo tempo de monitoramento, por ser uma técnica de remediação *in situ*, a mesma reduz riscos de contaminação por exposição em etapas de transporte de solo contaminado (WANG *et al.*, 2017; MADALÃO *et al.*, 2016).

É possível relacionar a fitorremediação com o conceito agricultura regenerativa, uma estratégia de produção agrícola que visa revitalizar e otimizar a saúde dos solos, a diversidade biológica e os sistemas ecológicos (ARMAS VEGA, 2024), melhorando assim a qualidade do recurso, e contribuindo para o desenvolvimento sustentável, e o alcance aos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, mais especificamente o ODS número 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), buscando meios de produzir alimentos que não agridam o meio ambiente e por meio da adoção de técnicas de cultivo mais resistentes, que produzam mais e ainda preservem os recursos naturais, resistam a mudanças climáticas, e deixem o solo cada vez mais saudável (GOMES e ROSSI, 2021).

Para maior eficiência do processo de fitorremediação, um dos fatores decisivos é a capacidade da espécie vegetal de tolerar os estresses causados pelo contaminante, ou seja, a resistência da planta e sua taxa de crescimento sob efeito do solo poluído (MURATOVA, *et al.*, 2015). Segundo Pires (2003) para seleção da melhor espécie a ser utilizada na fitorremediação, algumas características devem ser levadas em consideração, como o poder de absorção ou metabolização do contaminante pela planta, raízes densas, habilidade de retenção do contaminante na raiz, valores altos de produção de biomassa, resistência sob efeito de pragas ou doenças, além de fácil obtenção, plantio e posterior colheita, se necessário.

Quando comparada a outras técnicas de remediação de solo, a fitorremediação cumpre seu papel de forma eficiente, com baixo impacto nos locais contaminados e com baixos custos de instalação e manutenção (SARWAR *et al.*, 2017). Uma vez que o solo contaminado não é indicado para produção de alimentos, o aproveitamento da biomassa vegetal para utilização em bioenergia, pode ser considerado um incentivo para a escolha da fitorremediação destes locais,

além de contribuir para a redução do uso de combustíveis fósseis, e aumento do uso de energias renováveis (GOMES, 2012).

Estudos recentes de XI *et al.* (2018) mostram a maior eficiência fitorremediadora, na remoção de óleo diesel do solo contaminado, utilizando *Trifolium repens*, associado a aplicação de baixas concentrações de selênio.

## 2.5 Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

O sorgo é abundantemente utilizado no Brasil, com diversas finalidades, desde alimentação de gado, fabricação de ração, fibra, produção de alimentos, até atuando como matéria prima no setor energético com a produção de bioetanol, ou queima da biomassa em caldeiras para geração de energia térmica em indústrias (MAGALHÃES *et al.*, 2016). A principal destinação do sorgo no Brasil é a alimentação animal, na avicultura e suinocultura, mas também em menor escala na alimentação de bovinos e equinos, e praticamente não há consumo humano de sorgo na alimentação (RIBAS, 2007). Apesar de alguns estudos recentes do uso dos grãos de sorgo para produção de alimentos, como pães e massas sem glúten (AGUIAR *et al.*, 2023).

Segundo Lamers *et al.* (2011) há uma tendência no incentivo da utilização de biomassa vegetal no setor energético, por meio da bioenergia, no Brasil e em outros países que compõem a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE).

O sorgo sacarino, *Sorghum bicolor* L. Moench, da família Poaceae, é uma planta que possui características de tolerância a seca, estresse salino, e altas temperaturas, além de possuir capacidade de se adaptar a solos de textura argilosa e arenosa (MOREIRA *et al.*, 2021). Essas características botânicas, morfológicas e fenológicas do sorgo, facilitam a adaptabilidade da cultura nas diferentes regiões do Brasil (SILVA *et al.*, 2021). Além disso, o sorgo, quando comparado a outras culturas de grãos, carece de menor quantidade de água para seu desenvolvimento (MENEZES, 2021).

De acordo com Guimarães *et al.* (2016) e Muratova *et al.* (2015) o sorgo exige baixa fertilidade de solo e possui alta tolerância a estresses abióticos, altas temperaturas e estresse hídrico, baixa e alta saturação de alumínio (SANTOS, *et al.*, 2018). Vanin *et al.* (2011) constatou em seus experimentos que as sementes de sorgo não têm seu vigor prejudicado pelo uso de inseticidas. Além disso, outros estudos verificaram a capacidade da planta de tolerar estresses causados por metais pesados e de atuar como fitorremediadora, (ABOU-ELWAFI; AMIN e SHEHZAD, 2019; JIA *et al.*, 2017; ZHUANG *et al.*, 2009). Wang, Chen e Wang (2017) verificaram o potencial do sorgo como fitorremediador de radionuclídeos. Umeh,

Vázquez-Cuevas e Semple (2018) comprovou a restistência de monoculturas de sorgo sob efeito de fenantreno, um dos HPA presentes no óleo diesel.

Visto estas características do sorgo, este trabalho buscou investigar a capacidade de tolerância do *Sorghum bicolor* sob efeito do óleo diesel, e seu potencial fitorremediador do solo contaminado.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Cultivo e Aplicação dos Tratamentos**

As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 10-20 cm em área de mata nativa do município de Rio Verde, Goiás, sem a presença de óleo diesel detectável, região característica de Latossolo. Posteriormente, o solo foi contaminado com óleo diesel comum, nas concentrações de 0 (controle), 5, 10, 15 e 20 g kg<sup>-1</sup>, a fim de simular a contaminação por hidrocarbonetos derivados do petróleo. Após, os solos foram homogeneizados manualmente e colocados em vasos de 5L, onde permaneceram incubados por 14 dias, sendo irrigado a cada 3 dias para manter (~70%) da capacidade de campo.

Foram semeadas quatro sementes por vaso, da cultivar SHS 570 Astral, e o experimento conduzido em condições controladas, em casa de vegetação localizada no IF Goiano (latitude 17° 48' 16'' S, longitude 50° 54' 19'' W e altitude de 753 m), sendo molhadas diariamente.

O experimento contou com o delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos (concentrações de óleo mineral) e 4 repetições, cada repetição composta de um vaso contendo 1 planta (4 plantas por tratamento).

#### **3.2 Caracterização Biométrica**

Após 15 e 23 dias de exposição aos tratamentos, as plantas tiveram suas alturas medidas, utilizando a régua graduada em milímetros, e o diâmetro do colmo mensurado utilizando um paquímetro digital. Após 23 dias de instalação do experimento, retirou-se a parte aérea das plantas, as mesmas foram identificadas e colocadas em estufa para desidratação, no Laboratório de Sementes do campus. Depois de 48 horas, as amostras já secas foram pesadas utilizando balança de precisão.

#### **3.3 Caracterização Morfoanatômica Foliar e Micromorfometria**

Para as análises morfoanatômicas foram coletadas amostras foliares de 3 cm<sup>2</sup> da região central da última folha totalmente expandida de todas as repetições (n=4) de cada tratamento

(n=5) das plantas de *Sorghum bicolor*. Inicialmente as amostras foram fixadas em Karnovsky (1965), por 24 horas. Após este período, o material vegetal foi pré-lavado em tampão fosfato (0,1 M, pH 7,2) e desidratado em série etílica crescente (30% a 100%), pré-infiltrado e infiltrado em historesina (Leica, Alemanha), conforme as recomendações do fabricante. Posteriormente, as amostras foram seccionadas transversalmente a 5 µm de espessura em micrótomo rotativo (Modelo 1508R, Logen Scientific, China) e os cortes corados com azul de toluidina - coloração policromática (0,05% tampão fosfato 0,1 M, pH 6,8) (O'Brien *et al.*, 1964). As imagens foram obtidas em microscópio Olympus (BX61, Tokyo, Japão) acoplado com câmera DP-72 utilizando opção de campo claro. Posteriormente, foram realizadas observações morfoanatômicas da epiderme nas faces adaxial e abaxial e de mesofilo.

A partir das imagens obtidas, foi utilizado para medição das espessuras de folha, mesofilo, epiderme adaxial e abaxial e células buliformes, o software ImageJ. Os dados foram tabulados e analisados estatisticamente.

### **3.4 Histolocalização de Compostos Fenólicos**

Para descrição histoquímica de compostos fenólicos, amostras foliares da região do meio da última folha totalmente expandida de *S. bicolor* (L.) foram fixadas em solução de sulfato ferroso em formalina por 48 horas (JOHANSEN, 1940). Após este período, o material vegetal foi pré-lavado em tampão fosfato (0,1 M, pH 7,2) e desidratado em série etílica crescente (30 a 100%), pré-infiltrado e infiltrado em historesina (Leica, Alemanha). Posteriormente, as amostras foram seccionadas transversalmente a 5 µm de espessura em micrótomo rotativo (Modelo 1508R, Logen Scientific, China) e analisadas em microscópio Olympus (BX61, Tokyo, Japão).

### **3.5 Análise Estatística**

Os dados quantitativos de biometria obtidos serão submetidos as análises prévias de homogeneidade e normalidade dos erros. Com a normalidade dos dados confirmadas, será realizada ANOVA, seguida do teste Dunnett para determinar diferenças entre os tratamentos e o controle ( $p < 0,05$ ).

Os dados micromorfométricos passaram por análise de regressão para compreender como o efeito do aumento das concentrações afeta o comportamento de cada variável analisada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados Biométricos

Para a variável altura, após 15 e 23 dias de cultivo, os tratamentos (5, 10, 15, e 20 g kg<sup>-1</sup>) diferiram quando comparados ao tratamento controle. Já em relação a variável diâmetro do colmo, no primeiro dia de análise biométrica, houve diferença significativa comparando o tratamento controle com os demais tratamentos. Porém, na biometria realizada após os 23 dias de plantio, não houve diferença pelo teste de Dunnett

**Tabela 1.** Alturas e Diâmetros, das plantas de sorgo, 15 e 23 dias após plantio, em solo contaminado com óleo diesel nas concentrações de (0, 5, 10, 15 e 20 g kg<sup>-1</sup>).

Óleo Diesel (g kg <sup>-1</sup> )	Altura 15 dias de plantio (cm)	Altura 23 dias de plantio (cm)	Diâmetro do caule 15 dias (mm)	Diâmetro do caule 23 dias (mm)
0	9,51±1,30	14,43±2,09	2,50±0,22	2,50±0,22
5	5,95**±0,12	6,90**±0,49	1,81**±0,07	2,46±0,21
10	5,35**±0,45	5,88**±0,41	1,50**±0,04	2,11±0,08
15	5,87**±0,52	6,32**±0,77	1,71**±0,13	2,43±0,23
20	3,12**±0,62	4,08**±0,51	1,85**±0,07	2,21±0,14
<b>One-Way ANOVA</b>				
F (t-test)	<b>10,85**</b>	<b>14,45**</b>	<b>9,43**</b>	<b>0,89<sup>NS</sup></b>
p	<b>0,0001</b>	<b>&lt;,0001</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,4945</b>

Média ± EP (n = 4). Os asteriscos indicam diferenças significativas a 1% (\*\*). (NS) indica não significância.

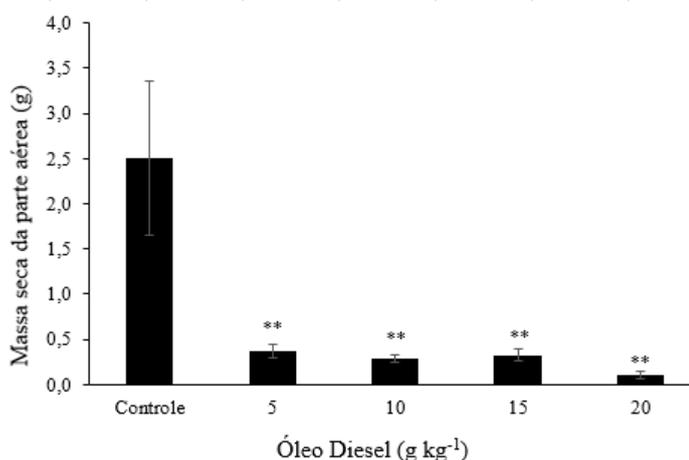
Em estudos de Lino (2018), não foi observado efeito significativo para a variável diâmetro do terço médio do colmo do sorgo, em experimento de irrigação com águas salinas. Porém, Tovignan *et al* (2023) em experimentos de regime hídrico de seca em plantas de sorgo, obteve resultados significativos para diâmetro do caule e altura da planta ao comparar com tratamentos bem irrigados. Farias *et al.* (2009) obteve como resultados, significância para altura de plantas, entre o tratamento controle e tratamento com *Erythrina crista-galli* L e solo contaminado por petróleo. Já estudos de Akman, Zhang e Ejeta (2021) com tratamentos de seca não encontraram diferença significativa para o parâmetro de altura de planta e de panícula de sorgo, antes da antese das plantas.

Quanto a massa seca da parte aérea das plantas, todos os tratamentos, com as dosagens 5, 10, 15 e 20 g kg<sup>-1</sup>, possuem diferença significativa quando comparados ao tratamento

controle. Observa-se no gráfico abaixo (Figura 2), as médias dos tratamentos e o erro padrão das mesmas. A média do tratamento controle foi superior às demais.

Petrová *et al.* (2017) verificou o baixo incremento de biomassa da parte aérea de sorgo em solo contaminado com HPAs. Ferreira *et al.* (2020), relataram influência negativa do óleo diesel na massa seca de plantas de amendoim. Adam e Duncan (2002) investigaram os efeitos do óleo diesel na germinação de sementes de diferentes culturas e seus resultados sugerem que o contaminante causou atraso na emergência das sementes, redução da porcentagem de germinação e formação de uma barreira física que impediu a troca de oxigênio e o contato com a água. Lima (2019) relatou situação similar em seu experimento com Capim Marandu, que não apresentou grande resiliência ao contaminante, o autor então sugere que o fato seja devido as dificuldades de infiltração da água pela impermeabilização do solo submetido a maiores concentrações de óleo lubrificante, além dos outros fatores subsecivos do poluente.

**Figura 2** – Massa seca parte aérea



**Figura 2.** Pesos da massa seca da parte aérea de cada tratamentos, 0 (controle), 5, 10, 15 e 20 g kg<sup>-1</sup>. Médias ± EP (n=4). Asteriscos (\*\*) representam diferença significativa, quando comparados ao Controle, à 1% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Os resultados de Lima (2019) demonstraram que Capim-Vetiver e Capim-Marandu são boas opções para remediação de pequenas áreas contaminadas com óleo lubrificante usado, enquanto o Capim-Vetiver apresentou maior resistência ao contaminante, o Marandu, por seu rápido ganho de biomassa é vantajoso para experimentos de curto espaço de tempo, mas possui menor resiliência ao estresse.

Segundo Oliveira (2021), a partir de estudos de deficiência hídrica em espécies vegetais, a ocorrência de uma seca intensa, pode estar relacionada ao não incremento de biomassa, em decorrência de um comportamento estomático mais conservador, de modo a evitar a perda excessiva de água. Além disso, a disponibilidade de água pode ter sido afetada pela dinâmica

do poluente no solo, e sua adsorção as partículas, formando uma camada de óleo nos poros do solo, dificultando a absorção de água pelo sistema radicular.

O baixo desenvolvimento da cultivar, pode ainda estar relacionado as alterações da microbiota do solo utilizado para o estudo, uma vez que a mesma desempenham papéis essenciais para os ciclos naturais e processos de limpeza ambiental, especialmente na remoção de contaminantes do solo. Silva (2019) ressalta a importância dos microrganismos, para que pudesse ser bem sucedida a remediação do ambiente em seu estudo de fitorremediação de sedimento contaminado por HPAs de petróleo bruto, levando em consideração que o papel da espécie vegetal na dinâmica de imobilização, remoção e degradação é relacionada aos processos da rizosfera. Costa e Oliveira (2024) observaram impactos negativos na diversidade e na estrutura da comunidade microbiana em estudos realizados em sedimentos de manguezais na presença do contaminante derivado de petróleo.

#### **4.2 Caracterização Anatômica Foliar e Compostos Fenólicos**

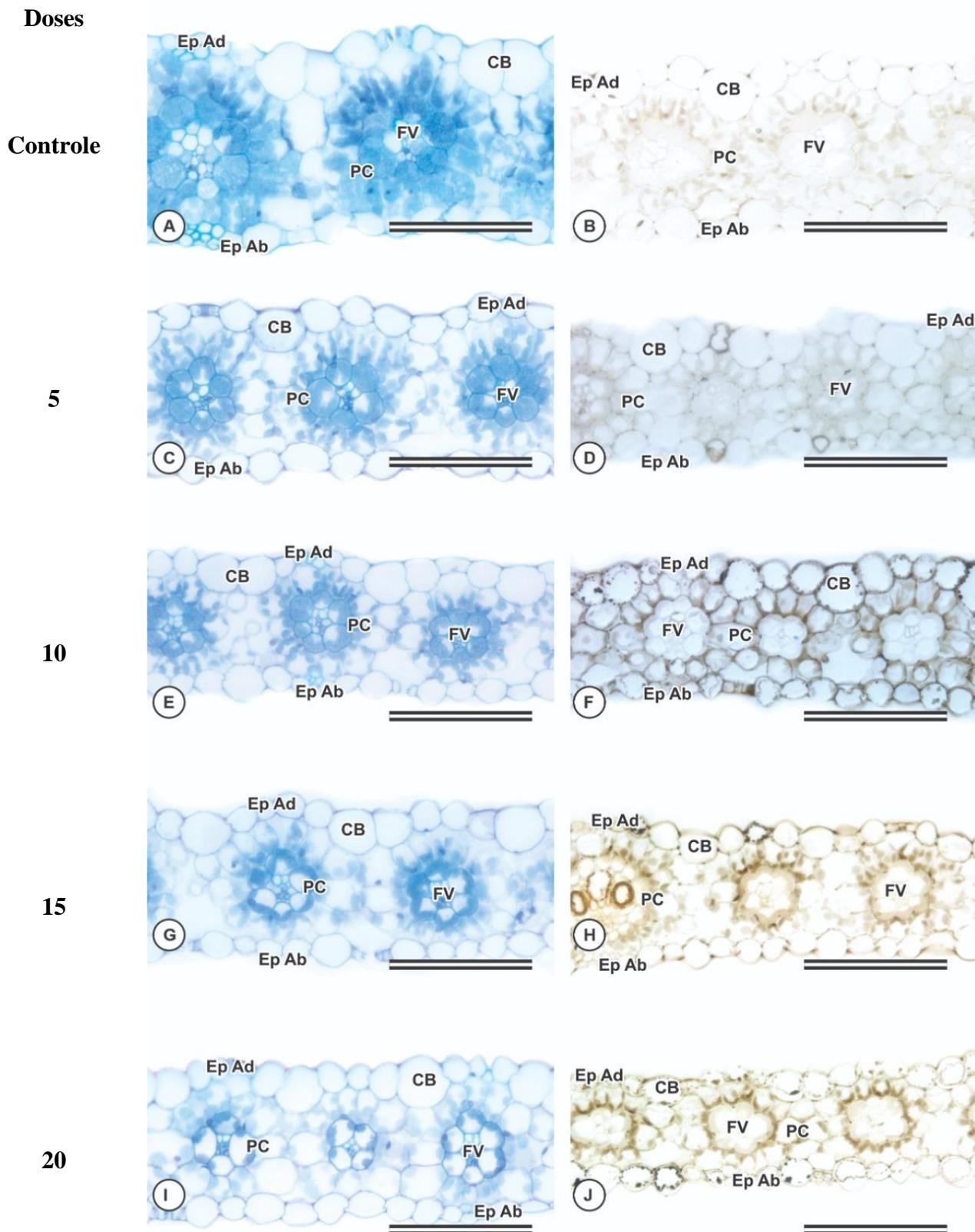
A epiderme foliar de *Sorghum bicolor* L. Moench apresenta células buliformes na face adaxial, com paredes anticlinais. Classificada como anfiestomática, possui estômatos em ambas as superfícies de epiderme, adaxial e abaxial. O mesofilo homogêneo é composto de parênquima clorofiliano com poucos espaços intercelulares. Nesse tipo de mesofilo, não há diferenciação entre os parênquimas clorofilianos paliádico e esponjoso.

As amostras foliares controles de *S.bicolor* não apresentam qualquer alteração anatômica (Figura 3 a), e no teste histoquímico pra detecção de compostos fenólicos os resultados foram negativos (branco) (Figura 3 b). Com a dose de 5 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel foi observada uma redução na espessura total da folha de *S.bicolor* (Figura 3 c), essa dose mostrou uma coloração mais castanha quando submetido ao teste histoquímico para detectar compostos fenólicos (Figura 3 d). A dose de 10 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel, deixou as folhas mais finas (Figura 3 e) em doses relativamente baixas, o diesel começa a desencadear respostas fenotípicas e bioquímicas de estresse, refletidas tanto na estrutura foliar quanto na síntese de compostos fenólicos e a presença de compostos fenólicos pode indicar que a planta passou por estresse oxidativo (DE FARIA et al., 2022); e no testes histoquímico para composto fenólicos a cor castanha ficou mais escura em relação a dose anterior e além disso observamos pontos enegrecidos (grãos de amido), segundo Cyriaco *et al.*, (2022) a presença desses grão de amidos representam falhas no remobilização de carboidratos dessa forma demonstrando uma disfunção metabólica pode ser uma resposta ao estresse oxidativo causado pelo óleo diesel (Figura 3 f).

A dose de 15 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel provocou afinamento nas espessura das folhas de *S.bicolor* (Figura 3 g) e no teste histoquímico também foi observada a coloração castanha mais intensa e a presença de pontos enegrecidos assim como a dose anterior (Figura 3 h). A dose de 20 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel em folhas de *S.bicolor*, provocou as mesmas alterações mencionadas anteriormente deixando nítido que o efeito se agrava com o aumentar das doses (Figura 3 i-j). As folhas se afinaram e a coloração ficou mais pronunciada, juntamente com a presença de mais pontos enegrecidos (CYRIACO *et al.*, 2022). Isso demonstra uma correção progressiva da integridade foliar e um acúmulo de compostos fenólicos e grãos de amido, indicando que o aumento da concentração de diesel agrava o estresse oxidativo e metabólico nas plantas.

As respostas da espécie podem estar relacionadas a fatores causados ao solo pela própria dinâmica do contaminante no solo, uma vez que os HPAs promovem alterações significativas em suas propriedades físicas e químicas. Parâmetros como textura, compactação e a resistência à penetração são diretamente influenciados pela presença deste contaminante. A condutividade e capacidade hídrica de saturação do solo também são afetadas, comprometendo a infiltração e percolação da água no solo. Além disso, A adsorção dos hidrocarbonetos aos sedimentos de solo é um processo influenciado pelo intemperismo físico e a capacidade hidrofóbica dos grãos do solo, que promoverá ou não a afinidade entre os hidrocarbonetos e as partículas do solo, favorecendo a adsorção e retenção desses poluentes (OSSAI *et al.*, 2020).

**Figura 3** – Prancha Anatômica



**Figura 3.** Anatomia e histoquímica de folhas de *Sorghum bicolor* L. submetidas as doses de 0, 5, 10, 15 e 20 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel. (a,b) controle, (c,d) 5 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel, (e,f)

10 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel, (g,h) 15 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel e (i,j) 20 g kg<sup>-1</sup> de óleo diesel. (Ep Ad) epiderme adaxial. (Ep Ab) epiderme abaxial. (CB) células buliformes. (FV) feixes vasculares e (PC) parênquima clorofiliano. Barra de escala 100 µm.

Rehn (2021) com tratamentos de 10,15 e 20 g/kg de diesel no solo, obteve em seus resultados alterações morfoanatômicas referentes a diminuição do tamanho das células buliformes da epiderme adaxial em *Brachiaria ruziziensis*. Asemoloye *et al* (2017) também observou alterações anatômicas e fisiológicas semelhantes em *M. maximus* como respostas ao crescimento em solos contaminados com hidrocarbonetos, sugerindo capacidade de sobrevivência da planta por conta dessas características adaptativas.

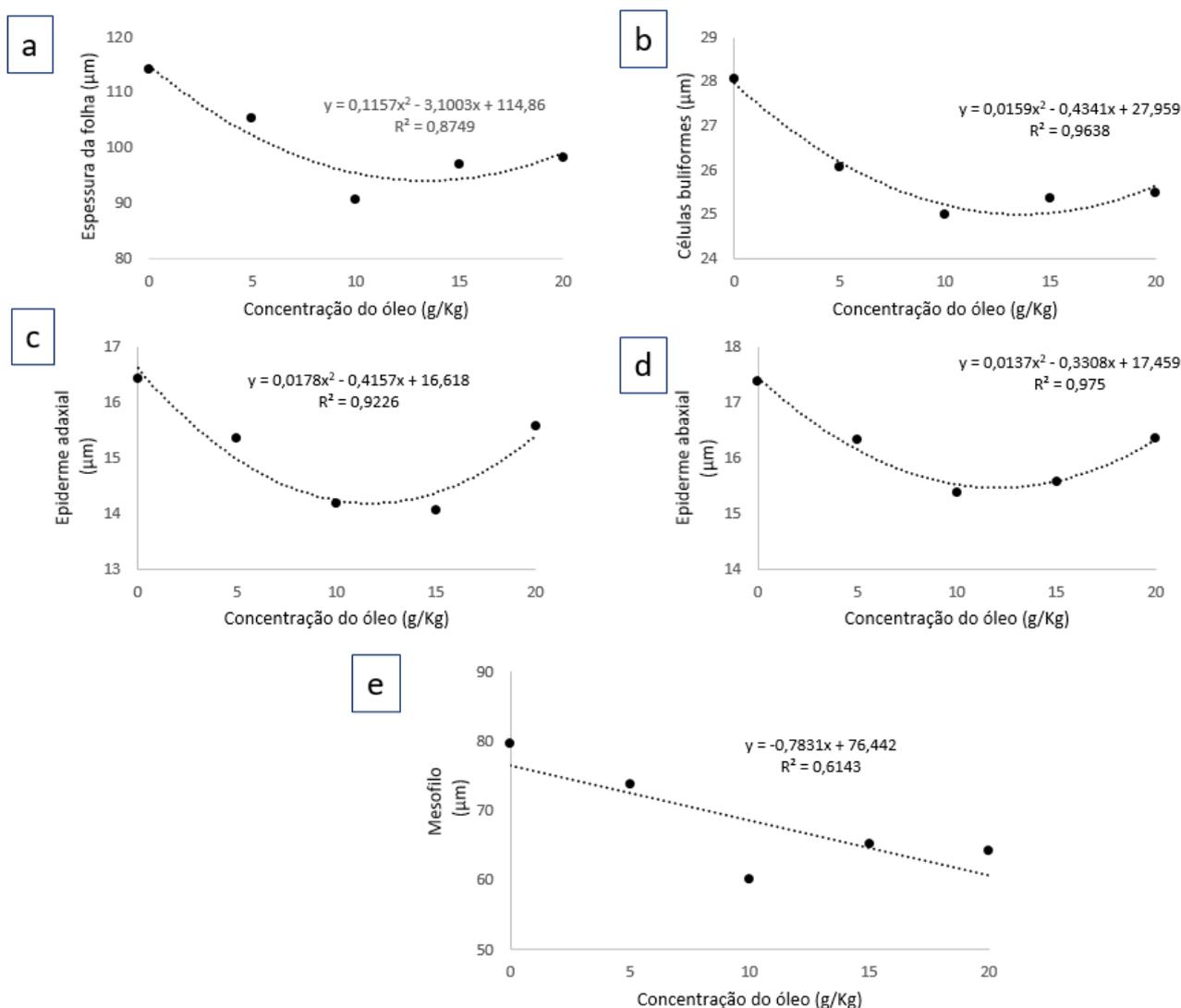
Rehn (2021) em sua pesquisa com *Brachiaria ruziziensis* em solos contaminados com óleo diesel, sugere baixo potencial da espécie como fitorremediadora, mas ressalta o alto potencial como bioindicadora do poluente, por conta da apresentação de sintomas visuais de clorose e necrose, e ainda o acúmulo de flavonoides, que corrobora com a indicação da planta para projetos de biomonitoramento.

### 4.3 Avaliações Micromorfométricas

As avaliações micromorfométricas mostraram que quando a espécie *Sorghum bicolor* L. expostas as doses de 5, 10, 15 e 20 g kg<sup>-1</sup> de diesel as folhas apresentam redução na espessura foliar (Figura 4 a) indicando danos à estrutura celular e comprometimento da função fotossintética; redução das células buliformes, responsáveis pela regulação hídrica e pela turgidez foliar, o que sugere uma maior vulnerabilidade ao estresse hídrico (Figura 4 b); redução da células da epiderme adaxial e dessa forma comprometendo a proteção mecânica e barreira contra perda de água e patógenos (Figura 4 c) e (Figura 4d), assim como a redução das células da epiderme abaxial e segundo Lino (2011) a maior espessura de células epidérmicas diminui possíveis perdas de água por transpiração.

Houve ainda a redução das células do mesófilo, resposta que afeta negativamente a eficiência na fotossíntese, uma vez que o mesófilo é o principal tecido envolvido na captura de luz e no processo fotossintético. (Figura 4 e). Esses resultados mostram que à medida em que as doses de óleo diesel aumentam, ocorre uma degeneração progressiva na estrutura foliar de *S. bicolor* com prejuízos evidentes na capacidade fisiológica da planta (SANCHES; DA SILVA, 2023). Segundo Carvalho *et al.* (2024) as alterações no mesófilo, células epidérmicas e buliformes, associadas à presença de compostos fenólicos e grãos de amido, sugerem que o diesel interfere diretamente nas funções celulares, causando danos severos à planta e comprometendo todo o seu desenvolvimento.

**Figura 4** – Avaliações Micromorfométricas



**Figura 4.** Avaliações micromorfométricas das folhas de *Sorghum bicolor* L. são expostas as doses de 5, 10, 15 e 20 g kg<sup>-1</sup> de diesel. (a) espessura total da folha. (b) células buliformes. (c) epiderme adaxial. (d) epiderme abaxial. (e) mesofilo.

As reduções nas espessuras do mesofilo podem estar relacionadas a problemas de disponibilização de nutrientes do solo após aplicação dos tratamentos na amostra, Pavanelli (2007) em seu estudo de fitorremediação de solo contaminado com derivados de petróleo, usando a espécie *Typha latifolia*, constatou por meio de análises de fertilidade de solo que a disponibilidade de cálcio, potássio e cobre foi afetada em função dos teores de contaminantes no solo.

## 5 CONCLUSÕES

Por apresentar alterações no crescimento (altura e diâmetro de colmo) e desenvolvimento de biomassa da parte aérea, devido à ação fitotóxica do óleo diesel, conclui-se que o sorgo não possui tolerância à dosagens de poluente experimentadas, sendo necessárias mais pesquisas que testem menores dosagens do contaminante, e outros parâmetros, como análises anatômicas radiculares e análises fisiológicas que avaliem a capacidade fotossintética além de ensaios de concentração remanescente do contaminantes no solo.

A exposição ao óleo diesel em *S. bicolor* provoca alterações estruturais e metabólicas significativas, com danos mais evidentes em doses maiores. A redução na espessura foliar, a toxicidade aumentada de compostos fenólicos e a falha na remobilização de carboidratos indicam que o diesel atua como um fator de estresse, causando uma disfunção celular progressiva, o que pode afetar a capacidade de sobrevivência da planta em ambientes contaminados.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2016). **Decisão de Diretoria nº 256/2016/E**, de 22 de novembro de 2016. Dispõe sobre a aprovação dos “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016” e dá outras providências.

\_\_\_\_\_. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2016-2018**. São Paulo : CETESB. (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103), 2019. 291 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2019/10/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Subterr%C3%A2neas-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2016-2018.pdf>> Acesso em: 27 de agosto de 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 13.263 de 23 de março de 2016**. (2016) Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Publicação Original no DOU de 24 de março 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.966 de 28 de abril de 2000**. (2000a) Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Publicação Original DOU - Edição Extra de 29 de abril de 2000.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 273**, de 29 de novembro de 2000. (2000c) Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Publicada no DOU nº 5, de 8 de janeiro de 2001.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 274**, de 29 de novembro de 2000. (2000b) Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Publicada no DOU no 18, de 25 de janeiro de 2001.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 319**, de 04 de dezembro de 2002. (2002) Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. Publicada no DOU nº 245, de 19 de dezembro de 2002.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 420**, de 28 de dezembro de 2009. (2009) Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicado no DOU nº 249, de 30 de dezembro de 2009.

ABOU-ELWAFI, S. F.; AMIN, A. E. A.; SHEHZAD, T. Genetic mapping and transcriptional profiling of phytoremediation and heavy metals responsive genes in sorghum. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 173, p. 366–372, 2019.

ACSELRAD, H.; MELLO, C. C. A. Conflito social e risco ambiental: o caso de um vazamento de óleo na Baía de Guanabara. In: ALIMONDA, H. **Ecología política: naturaleza, sociedad y utopía**, compilado por Hector Alimonda, Buenos Aires: Clacso, 2002, p. 293-317.

ADAM, G.; DUNCAN, H. Influence of diesel fuel on seed germination. **Environmental Pollution**, v. 120(2), p. 363–370, 2002.

AGUIAR, E. V. *et al.* A decade of evidence of sorghum potential in the development of novel food products: insights from a bibliometric analysis. **Foods**, v. 12 n. 3790, 2023.

AGUILERA, F. *et al.* Review on the effects of exposure to spilled oils on human health. **Journal Applied Toxicology**, v. 30, p. 291–301, 2010.

AKMAN, H.; ZHANG, C.; EJETA, G. Physio-morphological, biochemical, and anatomical traits of drought-tolerant and susceptible sorghum cultivars under pre- and post-anthesis drought. **Physiol. Plant**, v. 172, p. 912–921, 2021.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, v. 35, n. 3, p. 17 – 43, 2010.

ANP, **Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Petróleo e Derivados. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/component/content/article/2-uncategorised/709-petroleo-e-derivados>> Acesso em: 27 de agosto de 2020.

ARMAS VEGA, F. V. Beneficios de la agricultura regenerativa en la salud del suelo. **RECIAMUC**, V. 8(2), P. 665-677, 2024.

ASEMOLOYE, M. D. *et al.* Mediatonal influence of spent mushroom compost on phytoremediation of black-oil hydrocarbon polluted soil and response of *Megathyrus maximus* Jacq. **Journal of Environmental Management**, v. 200, p. 253–262, 2017.

BRASIL, **Lei nº 9.478 de 06 de agosto de 1997**. (1997) Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Publicado no DOU de 07 de agosto de 1997.

CAMPOS, A. T.; LUNA, S.; QUINTELLA, C. Prospecção tecnológica sobre o impacto ambiental causado pela concentração irregular do teor de enxofre em diesel no Brasil. **Cad. Prospec.**, v. 11, Edição Especial, p. 409-419, 2018.

CARDOSO, J. E. T.; LODI, P. C.; BARROS, A. M. T. C. Técnicas associadas de remediação de contaminação da água e do solo por hidrocarbonetos: estudo de caso em posto de combustível. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 05, n. 36, p. 18-28, 2017.

CERNIGLIA, C. E. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. **Biodegradation**, v. 3, p. 351–368, 1992.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2005). **Decisão de Diretoria nº 195-2005- E**, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.

COSTA, C. J. S. **Diagnóstico socioambiental da contaminação por hidrocarbonetos de petróleo em aquífero na cidade de João Pessoa-PB**. 2023, 136P. Tese (Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA) - Universidade Federal Da Paraíba, João Pessoa, 2023.

COSTA, M. F.; OLIVEIRA, E. J. F. Quando o petróleo empobrece: perda microbiana de sedimento de manguezal da Floresta Atlântica exposta à perturbação. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.12, n.2. 002-01, 2024.

COUTINHO, P. W. R. *et al.* Alternativas de remediação e descontaminação de solos: biorremediação e fitorremediação. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 59-68, 2015.

CYRIACO, L. L. *et al.* Efeito do estresse salino durante o estágio reprodutivo em arroz. **XXXI CIC – CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA** (2022).

DANTAS, F. B. **Investigando os riscos de contaminação de vias hídricas pela indústria do petróleo**. 2015, 75 p. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

DE FARIA, G.S. *et al.* Tolerância de *Hymenaea courbaril* L. ao glifosato. **Ecotoxicologia** , 1-10. 2022.

FARIAS, V. *et al.* Phytodegradation potential of *Erythrina crista-galli* L., Fabaceae, in petroleum-contaminated soil. **Appl. Biochem. Biotechnol.**, v. 157, p.10–22, 2009.

FERREIRA, J. P. D. S.; CUNHA, M. L. O.; LISBOA, L. A. M. Initial peanut development when grown on soil contaminated by diesel oil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e945997983, 2020.

GOMES, H. I. Phytoremediation for bioenergy: challenges and opportunities. **Environmental Technology Reviews**, v. 1, n. 1, p. 59–66, 2012.

GOMES, T. M.; ROSSI, F. **Água e solo na agricultura sustentável**. . Universidade de São Paulo. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/9786587023168>. Disponível em:

www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/673. Acesso em 12 dezembro. 2024.

GUIMARÃES, M. J. M. *et al.* Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016.

HUANG, Y. *et al.* Selenium enhanced phytoremediation of diesel contaminated soil by *Alternanthera philoxeroides*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 173, p. 347-352, 2019.

JACQUES, R. J. S. *et al.* Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.1192-1201, 2007.

JIA, W. *et al.* Identification for the capability of Cd-tolerance, accumulation and translocation of 96 sorghum genotypes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 391-397, 2017.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill Book, 1940.

KADRI, T. *et al.* Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by fungal enzymes: A review. **Journal of Environmental Sciences**, v. 51, p. 52-74, 2017.

LAMERS, P.; HAMELINCK, C.; JUNGINGER, M. International bioenergy trade—A review of past developments in the liquid biofuel market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2655- 2676, 2011.

LIMA, D. C. R. **Microrganismos degradadores de petróleo isolados de solos rizosféricos da província petrolífera de Urucu, Coari, Amazonas**. 2010, 47 f. Dissertação(Mestrado) Universidade do Estado Amazonas –Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia, 2010.

LIMA, V. H. R. *et al.* Avaliação do Capim-Vetiver e Capim-Marandu na remediação de solo contaminado com óleo lubrificante usado. **Sustentare - Periódico da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 3, n. 1, p. 122-142, 2019.

LINO, L. O. **Características anatômicas e fisiológicas de genótipos de sorgo contrastantes para tolerância à seca**. 2011, 85 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, 2011.

LINO, V. A. S. **Utilização de águas de alta concentração de sais como alternativa para a irrigação de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na região de Mossoró-RN**. 2018, 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2018.

MADALÃO, J. C. *et al.* Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone em função do tempo de cultivo de *Canavalia ensiformis*. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 1, p. 36 - 43, 2016.

MAGALHÃES, P. C. *et al.* Respostas Anatômicas, Fisiológicas e Enzimáticas em Linhagens de Sorgo Contrastantes a Seca sob Estresse Hídrico. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG. 31p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 135), 2016.

MARIANO, A. P. *et al.* Biodegradability of commercial and weathered diesel oils. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, p. 133-142, 2008.

MARIANO, A. P.; ANGELIS, D. F.; BONOTTO, D. M. Monitoramento de indicadores geoquímicos e avaliação de biodegradação em área contaminada com óleo diesel. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.12, n. 3, p. 296-304, 2007.

MAZZUCO, L. M. **Atenuação natural de hidrocarbonetos aromáticos em aquíferos contaminados com óleo diesel**. 2004, 86 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MENEZES, C. B. de. **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. 546 p. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1138157>> Acesso em: 23 nov. 2023.

MOREIRA *et al.* **Qualidade tecnológica do sorgo sob manejo de maturadores químicos**. Ponta Grossa: EMBRAPA CNPMA: Atena, 2021. 119 p. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1139061>> Acesso em: 23 nov. 2023.

MURATOVA, A. *et al.* Effect of cadmium stress and inoculation with a heavy-metal-resistant bacterium on the growth and enzyme activity of *Sorghum bicolor*. **Environ. Sci. Pollut. Res. Int.**, v. 22, p. 16098–16109, 2015.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v: 59, p. 368-373, 1964.

OLIVEIRA, F. S. **Aspectos morfoanatômicos e metabólicos envolvidos na tolerância à seca em eucalipto**. 2021, 100P. Tese (Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

OSSAI, I. C., AHMED, A., HASSAN, A., & HAMID, F. S. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. **Environmental Technology & Innovation**, v. 17, p. 100526, 2020.

PAVANELLI, A. G. **Fitorremediação de solo contaminado com petróleo utilizando *Typha latifolia***. 2007, 77P. Dissertação (Programa de Mestrado em Química dos Recursos Naturais) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

PENA, P. G. L. *et al.* Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 2, 2020.

PETROBRÁS. **Relatório de Sustentabilidade 2019**. (2020). Disponível em: <<https://sustentabilidade.petrobras.com.br/src/assets/pdf/Relatorio-Sustentabilidade.pdf>> Acesso em: 27 de agosto de 2020.

PETROVÁ, S. *et al.* Preliminary study of phytoremediation of brownfield soil contaminated by PAHs. **Science of the Total Environment**, v. 599–600, p. 572–580, 2017.

PIMENTEL, P. F. **Fenantreno remanescente para a avaliação de biodisponibilidade de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em solos**. 2009, 102 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PIRES, F. R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

PORTO, D. C. **Investigação da contaminação do solo e das águas subterrâneas por óleo combustível: estudo de caso em Riberão Preto (SP) - Empresa Viação Garcia**. 2014, 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Londrina, 2014.

REHN, L. S. ***Brachiaria ruziziensis* tem potencial de fitorremediação de solos contaminados com óleo diesel?** 2021, 45 f. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação – Stricto Sensu em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2021.

RIBAS, P. M. Importância Econômica. In: **Cultivo do Sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo.

RIZZO, A. C. L. *et al.* **Biorremediação de solos contaminados por petróleo: ênfase no uso de biorreatores**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, (Série Tecnologia Ambiental, 37), 2007. 76 p.

ROEHRIG, J. **Remediação de sítios contaminados através da extração de vapores do solo**. 1991, 157f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP, 1991.

ROSA, G. S. **Avaliação do potencial de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por petróleo**. 2006, 144 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SANCHES, A. G.; DA SILVA, M. B. Selênio como atenuador do estresse oxidativo induzido por metais tóxicos em plantas: revisão. **Tecnologia E Inovação Na Agricultura: Aplicação, Produtividade E Sustentabilidade Em Pesquisa-Volume 2**, 2, 74-84. 2023.

SAFEHIAN, H.; RAJABI, A. M.; GHASEMZADEH, H. Effect of diesel-contamination on geotechnical properties of illite soil. **Engineering Geology**, v. 241, p. 55–63, 2018.

SAMPAIO, C. J. S. **Estudos de fitorremediação de solos contaminados com diesel utilizando *Rhizophora mangle* L. e rizobactérias promotoras do crescimento de plantas**. 2015, 72 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Instituto de Ciências da Saúde, Salvador, 2015.

SANTOS, C. V. *et al.* Performance of grain sorghum hybrids in soils with low and high aluminum saturation. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 48, n. 1, p. 12-18, 2018.

SARWAR, N. *et al.* Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. **Chemosphere**, v. 171, p. 710-721, 2017.

SHARMA, P.; PANDEY, S. Status of Phytoremediation in World Scenario. **International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation**, v. 2, n. 4, p. 178-191, 2014.

SILVA, D. F. et al. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n.3, 2021.

SILVA, J. V. L. **Fitorremediação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos por *Rhizophora mangle* em sedimento de manguezal contaminado por petróleo bruto.** 2019, 46P. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

SILVA, L. M. **Biodegradação de hidrocarbonetos por rizobactérias em solo de várzea da Amazônia contaminado com petróleo e óleo diesel.** 2018, 113 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

Sistema de produção versão eletrônica, 3<sup>a</sup> ed. 2007. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27507/1/Importancia-economica.pdf>> Acesso em: 23 nov. 2023.

TOVIGNAN, T. K. *et al.* Precision phenotyping of agro-physiological responses and water use of sorghum under different drought scenarios. **Agronomy**, 13 (3), 722, 2023.

UMEH, A. C.; VÁZQUEZ-CUEVAS, G. M.; SEMPLE, K. T. Mineralisation of 14C-phenanthrene in PAH-diesel contaminated soil: Impact of *Sorghum bicolor* and *Medicago sativa* mono- or mixed culture. **Applied Soil Ecology**, v. 125, p. 46–55, 2018.

VANIN, A. *et al.* Tratamento de sementes de sorgo com inseticidas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 299 - 309, 2011.

WANG, L. *et al.* A review on in situ phytoremediation of mine tailings. **Chemosphere**, v. 184, p. 594 - 600, 2017.

WANG, X.; CHEN, C.; WANG, J. Phytoremediation of strontium contaminated soil by *Sorghum bicolor* (L.) Moench and soil microbial community-level physiological profiles (CLPPs). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 8, p. 7668–7678, 2017.

XI, Y. *et al.* Se enhanced phytoremediation of diesel in soil by *Trifolium repens*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 154, p. 137–144, 2018.

ZHUANG, P. *et al.* Removal of metals by sorghum plants from contaminated land. **Journal of Environmental Sciences**, v. 21, p. 1432–1437, 2009.