



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS



LUIZ FERNANDO CAMPOS CARVALHO

Espécies vegetais para fitorremediação de contaminantes orgânicos: uma revisão de literatura

Uberlândia
2023

LUIZ FERNANDO CAMPOS CARVALHO

Espécies vegetais para fitorremediação de contaminantes orgânicos: uma revisão de literatura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel, em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo

Uberlândia

2023

LUIZ FERNANDO CAMPOS CARVALHO

Espécies vegetais para fitorremediação de contaminantes orgânicos: uma revisão de literatura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel, em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo

Uberlândia, 2023
Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo
Presidente da Banca
Universidade Federal de Uberlândia

Prof^a. Dr^a Sueli Moura Bertolino
Membro interno
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Eunir Augusto Reis Gonzaga
Membro interno
Universidade Federal de Uberlândia

Dedico este trabalho às pessoas que estiveram ao meu lado durante toda a etapa da graduação, em especial à minha mãe Claudia, que sempre batalhou para eu estar aqui e ensinou o que é ser forte e resiliente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Lucas Carvalho Basílio de Azevedo pela paciência e empatia durante todo o desenvolvimento desta monografia; ao parceiro de pesquisa Alexandre Pereira, sempre solícito e disposto a acrescentar; minha companheira de vida Maria Eugenia Cordeiro por sempre estar ao meu lado em momentos que precisava de ânimo e força para me manter focado; e em especial minha mãe Cláudia e avó Domingas por terem me ensinado muito sobre integridade, batalha e persistência.

Foram imprescindíveis nesta conquista.

RESUMO

A fitorremediação se constitui no uso de plantas para a descontaminação em ambientes impactados por poluentes orgânicos ou inorgânicos. Entre as suas grandes vantagens está o baixo custo e, sendo uma técnica *in situ*, diminui o risco de difundir a contaminação. A poluição do solo com contaminantes orgânicos é um dos problemas ambientais com maior risco aos seres humanos e aos processos ecológicos. Nesse contexto, a técnica de remediação com plantas surge como uma forma efetiva e sustentável de recuperar o meio. Dentre a diversidade vegetal, é importante identificar as espécies com potencial de fitorremediação. Portanto, este estudo objetivou o levantamento de potenciais espécies fitorremediadoras a partir de uma busca por artigos científicos na literatura utilizando o repositório disponibilizado na Oasis Br até outubro de 2021 com os critérios de inclusão e exclusão discriminados na metodologia deste estudo. Dentre 519 resultados de pesquisas na literatura, 65 estudos distintos que apresentaram 81 espécies vegetais com aptidão para a fitorremediação de solos contaminados com compostos orgânicos, no qual 44,9% pertencem à família Fabaceae, 23,9% Poaceae e o restante de famílias diversas. A maior parte dos estudos das interações plantas e contaminantes indicam tolerância, seguido por aqueles que mostram os mecanismos de fitodegradação e/ou fitoestimulação na descontaminação. As espécies crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) mostraram maior efetividade na fitorremediação de contaminantes distintos, aparecendo como agente mitigador da contaminação do solo em 5 dos 21 compostos estudados. Os herbicidas sulfentrazone, picloram e trifloxysulfuron-sodion foram objeto de estudo na maior parte dos trabalhos. Embora haja muito a se explorar no comportamento das plantas em contato com os contaminantes, os resultados são satisfatórios, contribuem para o avanço do conhecimento, e levantam uma gama de possibilidades na remediação de solos contaminados com compostos orgânicos. Com isso, já é possível a perspectiva de usar determinada planta para fitorremediar determinado contaminante orgânico. Portanto, os resultados têm potencial de ser base para aplicações práticas de descontaminação de poluentes orgânicos.

Palavras-chaves: fitorremediação; compostos orgânicos.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Etapas para a seleção de estudos representativos seguindo os critérios pré-estabelecidos para a revisão bibliográfica buscando encontrar estudos que apresentam espécies vegetais eficientes na fitorremediação de solos contaminados por compostos orgânicos.....16
- Figura 2** – Número de estudos científicos apresentados para cada termo pesquisado na plataforma OasisBr visando a busca de espécies fitorremediadoras e os mecanismos de remediação do solo contaminados por compostos orgânicos17
- Figura 3** – Quantidade de estudos realizados por autores diferentes e que buscam aprofundar na fitorremediação de um mesmo contaminante orgânicos, identificados em cores quanto a sua classe geral19
- Figura 4** – Mecanismos de fitorremediação e a recorrência que foram citados nos estudos encontrados referentes a fitorremediação de contaminantes orgânicos no solo20
- Figura 5** – Espécies vegetais relacionadas ao número de contaminantes orgânicos que conseguiram apresentar resultado efetivo na fitorremediação28
- Figura 6** – Representatividade das famílias botânicas relacionadas às espécies vegetais encontradas nas pesquisas como agentes fitorremediadoras de contaminantes orgânicos no solo.....29
- Figura 7** – Proporção de famílias botânicas identificadas nos estudos envolvendo a fitorremediação dos compostos orgânicos do grupo “Explosivos”29
- Figura 8** – Proporção de famílias botânicas identificadas nos estudos envolvendo a fitorremediação dos compostos orgânicos do grupo “Herbicidas”30
- Figura 9** – Proporção de famílias botânicas identificadas nos estudos envolvendo a fitorremediação dos compostos orgânicos do grupo “Hidrocarbonetos do Petróleo (PHC)”30
- Figura 10** – Proporção de famílias botânicas identificadas nos estudos envolvendo a fitorremediação dos compostos orgânicos do grupo “Pesticidas”31

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Palavras-chaves buscadas na plataforma Oasisbr, com e sem aspas, a fim de encontrar espécies vegetais relacionadas a fitorremediação de algum composto orgânico no solo e qual seu mecanismo fitorremediador14
- Tabela 2** – Todos os contaminantes orgânicos encontrados divididos em 4 classes gerais (Explosivos, herbicidas, hidrocarbonetos do petróleo e pesticidas) e relacionados ao número de estudos que representam e a proporção em relação ao total.....18
- Tabela 3** – Contaminantes orgânicos do Grupo “Explosivos” relacionados com as plantas utilizadas na sua fitorremediação.....21
- Tabela 4** – Contaminantes orgânicos do Grupo “Hidrocarbonetos do Petróleo (PHC)” relacionados com as plantas utilizadas na sua fitorremediação.....21
- Tabela 5** – Contaminantes orgânicos do Grupo “Herbicidas” relacionados com as plantas utilizadas na sua fitorremediação.....22
- Tabela 6** – Contaminantes orgânicos do Grupo “Pesticidas” relacionados com as plantas utilizadas na sua fitorremediação.....27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HCH - Hexaclorociclohexano

HPA - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

PHC - Hidrocarbonetos do Petróleo

TNT - Trinitrotolueno

TPH - Hidrocarbonetos Totais do Petróleo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	13
3. METODOLOGIA.....	13
4. RESULTADOS	17
5. DISCUSSÃO	32
6. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIA.....	38

1. INTRODUÇÃO

A partir da metade do século XX, a consciência quanto aos impactos das ações humanas sobre o ambiente aumentou (CALCULLI *et al.*, 2021). Com isso, maior atenção foi dada para o entendimento dos efeitos das atividades humanas sobre o ambiente por parte de órgãos governamentais e de pesquisa. Então, reconhece-se que diversos impactos ao funcionamento dos ecossistemas e problemas de saúde são ligados a poluição e degradação ambiental (ONU, 2016; MANISALIDIS *et al.*, 2020).

Dentre os impactos gerais, está a redução da biodiversidade e atividade biológica, resultando na redução da habilidade dos ecossistemas de retornarem ao seu estado natural, capacidade conhecida como resiliência após uma perturbação (CAPDEVILA *et al.*, 2021). Portanto, os benefícios diretos ou indiretos que o meio natural promove ao ser humano, chamados de serviços ecossistêmicos, são afetados negativamente em ambientes degradados (NORDLUND *et al.*, 2018; BRASIL, 2022).

A pedosfera, que é definida com o conjunto de solos do planeta é essencial para serviços ecossistêmicos ao ambiente e à sociedade, como a produção primária em ecossistemas de terra firme, a produção de alimentos, o processamento da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, fonte de metabolitos para uso em tecnologias, filtragem de solutos, e regulação de fluxos de água subterrânea e superficial (CAMPOS *et al.*, 2020; KAMALI *et al.*, 2022). Dessa forma, manter o funcionamento solo é mandatório para se conservar ecossistemas terrestres, para a produção agrícola sustentável, para a qualidade da água e para o bem-estar da população.

Entretanto, os solos foram considerados por muito tempo como receptores ilimitados de substâncias nocivas, sendo que o conceito de proteção dos mesmos foi o último a ser abordado nas políticas ambientais dos países desenvolvidos (CANARIO *et al.*, 2020). Então, sabendo que ele é um recurso natural finito e, como visto anteriormente, se mostra essencial para as relações entre sociedade e natureza, diversos métodos de recuperação de áreas degradadas são estudados visando identificar a sua viabilidade quanto ao custo e eficiência nos resultados esperados. A descontaminação ambiental, também chamada de remediação, pode empregar técnicas químicas, térmicas (físico-químicas) e o uso de seres vivos ou processos biológicos.

As técnicas biológicas de remediação têm-se destacado na descontaminação de solos e água e uma delas é a fitorremediação que constitui no uso de plantas em ambientes impactados por poluentes orgânicos ou inorgânicos para a descontaminação (RADA *et al.*, 2019; AL-THANI *et al.*, 2020). Uma das vantagens de empregar a fitorremediação para a recuperação de ambientes contaminados por poluentes orgânicos é seu baixo custo e, por ser uma técnica in

situ (aplicada no local da contaminação) não apresenta contaminação secundária (RADA *et al.*, 2019; WONG-ARGÜELLES *et al.*, 2021). Além disso, o tratamento também contribui para a beleza cênica da área a ser remediada, já que o ambiente passa a ser mais vegetado (MARQUES, 2011; VALENCIA *et al.*, 2017; RADA *et al.*, 2019).

Resultados promissores de fitorremediação já foram obtidos para hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos (STELIGA *et al.*, 2020; AGUIAR *et al.*, 2018), explosivos (PINHEIRO, 2017), solventes clorados (RISSATO *et al.*, 2015; PINHEIRO, 2017) e subprodutos tóxicos da indústria (PINHEIRO, 2017). Nessas condições, as plantas podem promover a degradação, isolamento ou imobilização do contaminante (MARQUES, 2011; STELIGA *et al.*, 2020; RENER *et al.*, 2022; NEGRÃO, 2022), por diversos mecanismos. As técnicas de fitorremediação estão subdivididas, segundo a Agência de Proteção do Meio Ambiente (U.S. Environmental Protection Agency – EPA, 2000), em: fitoextração, rizofiltração, fitoestabilização, rizodegradação, fitodegradação, fitovolatilização, fitomineração, controle hidráulico e cobertura vegetativa.

A poluição do solo com contaminantes orgânicos é um dos problemas ambientais mais intratáveis da atualidade, representando sérias ameaças aos seres humanos e ao meio ambiente. (FENG *et al.*, 2017; NEGRÃO, 2022). Além disso, são poluentes muito comuns e podem ter origem natural (ex.: componentes do petróleo) ou antropogênica, como a síntese de compostos químicos na indústria (VIANA, 2007; FENG *et al.*, 2017; NEGRÃO, 2022). Há décadas o consumo global de óleo mineral e de produtos químicos orgânicos sintéticos vem aumentando e junto a isso, a contaminação da água, do solo e do ar por compostos orgânicos continuará sendo a maior preocupação das agências de proteção ambiental (VIANA, 2007; FENG *et al.*, 2017; CANARIO *et al.*, 2020).

Atualmente, mais de 200 milhões de pessoas em todo o mundo estão expostas à poluição tóxica em níveis superiores aos tolerados pelas organizações internacionais de saúde (NEGRÃO, 2022). No Brasil, um caso grave de contaminação do solo ocorreu na década de 50 na Baixada Fluminense no Rio de Janeiro. Uma fábrica de hexaclorociclohexano (HCH), um pesticida proibido no Brasil há mais de 20 anos, que utilizava como matéria-prima o cancerígeno benzeno, foi desativada de maneira incorreta e a exposição à população local aumentou os casos de leucemia e outros tipos de câncer (BARBOSA, 2011). Além disso, casos de contaminação do solo já foram registrados em Cubatão, São Paulo, promovido por fábricas de pesticida, e, em Santo Amaro da Purificação, Bahia, através de uma empresa de

beneficiamento de chumbo (BARBOSA, 2011). Portanto, não são casos isolados, e assim, segue prejudicando a qualidade de vida da população em vários cantos do país.

As técnicas que mais apresentam afinidade para a remediação de contaminação no solo por compostos orgânicos são a fitodegradação, fitovolatilização e a rizodegradação (MEJÍA *et al.*, 2014; PINHEIRO, 2019). Cada um desses mecanismos metaboliza os componentes orgânicos de uma maneira diferente e podem ocorrer separadamente ou combinados entre si, dependendo da capacidade fitorremediadora da planta utilizada.

Define-se como fitodegradação a técnica que utiliza o metabolismo da planta e, ou de microrganismos da rizosfera para a quebra de contaminantes (MCPHERSON, 2007; WENZEL, 2008; NEGRÃO, 2022). Estes mecanismos podem acontecer internamente às células, por processos metabólicos, ou externamente, por enzimas produzidas pela planta e liberadas no solo (VASCONCELLOS *et al.*, 2012; NEGRÃO, 2022).

A rizodegradação ocorre na rizosfera, isto é, na região do solo que é afetada pela presença de raízes, conferindo maior diversidade, número e atividade microbiana (RENER *et al.*, 2022). A rizodegradação ou biodegradação na rizosfera da planta precisa da presença de microrganismos que ativam a atividade biológica em torno das raízes da planta, acelerando assim a degradação de substâncias, especialmente as orgânicas (MEJÍA *et al.*, 2014; RENER *et al.*, 2022). As raízes liberam compostos produzidos pela própria planta que tem o potencial de auxiliar na remediação pela atividade biológica existente na rizosfera, entre esses compostos estão alguns ácidos orgânicos, esteróis, nucleotídeos e enzimas (FENG *et al.*, 2017).

Já a fitovolatilização consiste na captação e transpiração de um contaminante pela planta, com liberação do contaminante na forma original ou modificada no estado de gasoso para a atmosfera (VASCONCELLOS *et al.*, 2012; NEGRÃO, 2022). Isto é, esse processo pode ocorrer após a biodegradação, ou seja, fitodegradação e/ou rizodegradação promovida pela planta e, simplesmente pela absorção do composto e sua volatilização. Um exemplo de composto orgânico removido por fitovolatilização é o tricloroetileno (TCE) (MEJÍA *et al.*, 2014).

A rizodegradação é uma técnica utilizada para degradação de compostos orgânicos provenientes do petróleo, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, dentre outros compostos orgânicos (VASCONCELLOS *et al.*, 2012; NEGRÃO, 2022). Portanto, o processo apresenta vasta aplicabilidade mediante a gama de compostos que podem ser suscetíveis a biorremediação pela técnica.

O sucesso do procedimento depende da biodisponibilidade dos contaminantes e da seleção criteriosa de plantas com características favoráveis, como alta produção de biomassa, adaptação a condições climáticas, crescimento rápido, fácil estabelecimento, presença de raízes densas e que alcancem a profundidade do contaminante presente no solo, capacidade de crescer em solos com poucos nutrientes, tolerar concentrações relevantes e múltiplos contaminantes (LUO *et al.*, 2017; GERHARDT *et al.*, 2017).

Nesse sentido, diversas pesquisas avaliam o desenvolvimento e a eficiência de remediação por espécies vegetais em solos contaminados com compostos orgânicos. Visando a seleção de plantas para a remediação de determinado ambiente, torna-se importante o levantamento que dispõem a relação de espécies vegetais fitorremediadoras eficientes, os contaminantes, as características de desenvolvimento da espécie e o bioma de origem.

Além de proporcionar evolução às práticas de remediação e conservação do solo, a fitorremediação tem caráter sustentável nos quesitos ambiental, social, econômico e biológico. Como a técnica visa a imobilização e/ou degradação de contaminantes, conseqüentemente assegura que não ocorra a dissipação do mesmo, aumentando a proteção do solo adjacente à área contaminada e dos ambientes vizinhos, como os mananciais subterrâneos e superficiais por meio da retenção de lixiviação (MONQUERO *et al.*, 2021). Por promover a recuperação dos recursos hídricos e do solo, o impacto social da fitorremediação é positivo, já que a população que vive no entorno de áreas degradadas é protegida de problemas de saúde por meio da diminuição da contaminação e dos riscos envolvidos.

O controle da propagação dos contaminantes também contribui para a proteção da biota local e, assim, promove a diversidade e atividade biológica, que é fundamental para os serviços ecossistêmicos prestados pelo solo. Com o crescimento vegetal, há estímulo da biota do solo e do ecossistema de uma forma geral (MONQUERO *et al.*, 2021).

De forma geral, a recuperação e a conservação do solo garantem o suporte da produtividade e de atividades agrícolas por mais tempo, o que a longo prazo gera mais renda do que o uso predatório e irracional do meio. Mais do que esse aspecto, a conservação do solo implica na conservação e equilíbrio da dinâmica dos recursos naturais. Portanto, quando se mantém ou se recupera as condições do solo, afeta-se positivamente outros recursos relacionados ao funcionamento do solo, como, por exemplo, a disponibilidade hídrica, a qualidade da água, as cadeias tróficas associadas e o fluxo de matéria e energia (MONQUERO *et al.*, 2021).

Considerando os casos de contaminação por poluentes orgânicos em todo o mundo, considerando os impactos dessa poluição, considerando que a fitorremediação é uma forma sustentável de se remediar tais situações, considerando que é importante reconhecer quais espécies são eficientes para tratar áreas contaminadas, este trabalho visa facilitar e disseminar a técnica de fitorremediação.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral é de investigar diversos estudos que apontam espécies vegetais e sua eficiência na fitorremediação ou tolerância perante contaminantes orgânicos e, portanto, as informações coletadas e disponibilizadas podem disseminar a implantação da técnica e propor soluções de baixo custo para a recuperação de áreas contaminadas.

3. METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi realizada utilizando a plataforma Oasisbr, um portal brasileiro que reúne a produção científica nacional em acesso aberto. Ele permite, por meio de uma única interface, a pesquisa simultânea em repositórios digitais, teses e dissertações e periódicos científicos eletrônicos (BRASIL, 2023). A iniciativa é realizada e coordenada pela equipe do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), unidade de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) (BRASIL, 2023).

Por meio do Oasisbr é possível consultar e fazer o download do texto completo, sem nenhum custo, de artigos científicos, teses, dissertações, livros, capítulos de livros, trabalhos apresentados em eventos, entre outros documentos que constituem a produção científica nacional e internacional. De acordo com a estatística apresentada no próprio sítio eletrônico, até outubro de 2021, mês que se encerraram a busca de artigos bases para esta revisão, a plataforma reunia cerca de dois milhões e setecentos (2.678.928) estudos científicos, em diversas áreas da ciência.

Então, primeiramente, foram utilizados termos gerais, como “fitorremediação” e/ou “phytoremediation of soil”, e de termos específicos como “Phytoremediation of Organic contaminants in Soil” e/ou “Fitorremediação do Solo contaminado por compostos orgânicos”,

para a busca de estudos com espécies vegetais fitorremediadoras de contaminantes orgânicos. A Tabela 1 apresenta as terminologias procuradas na plataforma.

Tabela 1 - Palavras-chaves buscadas na plataforma Oasisbr, com e sem aspas, a fim de encontrar espécies vegetais relacionadas a fitorremediação de algum composto orgânico no solo e qual seu mecanismo fitorremediador.

Phytoremediation of Soil
Phytoremediation of Organic Contaminants in Soil
Phytoremediation of Organic Contaminants
Fitorremediação
Phytoremediation
Fitorremediação do solo
Fitorremediação do Solo Espécies Nativas
Fitorremediação do Solo com Uso de Espécies Nativas
Fitorremediação do Solo Contaminado por Compostos Orgânicos
Espécies Fitorremediadoras de Compostos Orgânicos

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Nenhum campo de busca avançada foi preenchido, somente a barra de pesquisa com os termos, e, foram inseridos com e sem aspas. Para cada termo pesquisado, obteve-se uma quantidade diferente de pesquisas científicas como resultado, os quais todos foram avaliados, para uma certificação mais facilitada se o documento contribui para os objetivos desta revisão. Essa avaliação tinha como premissa os seguintes critérios de inclusão e exclusão do estudo:

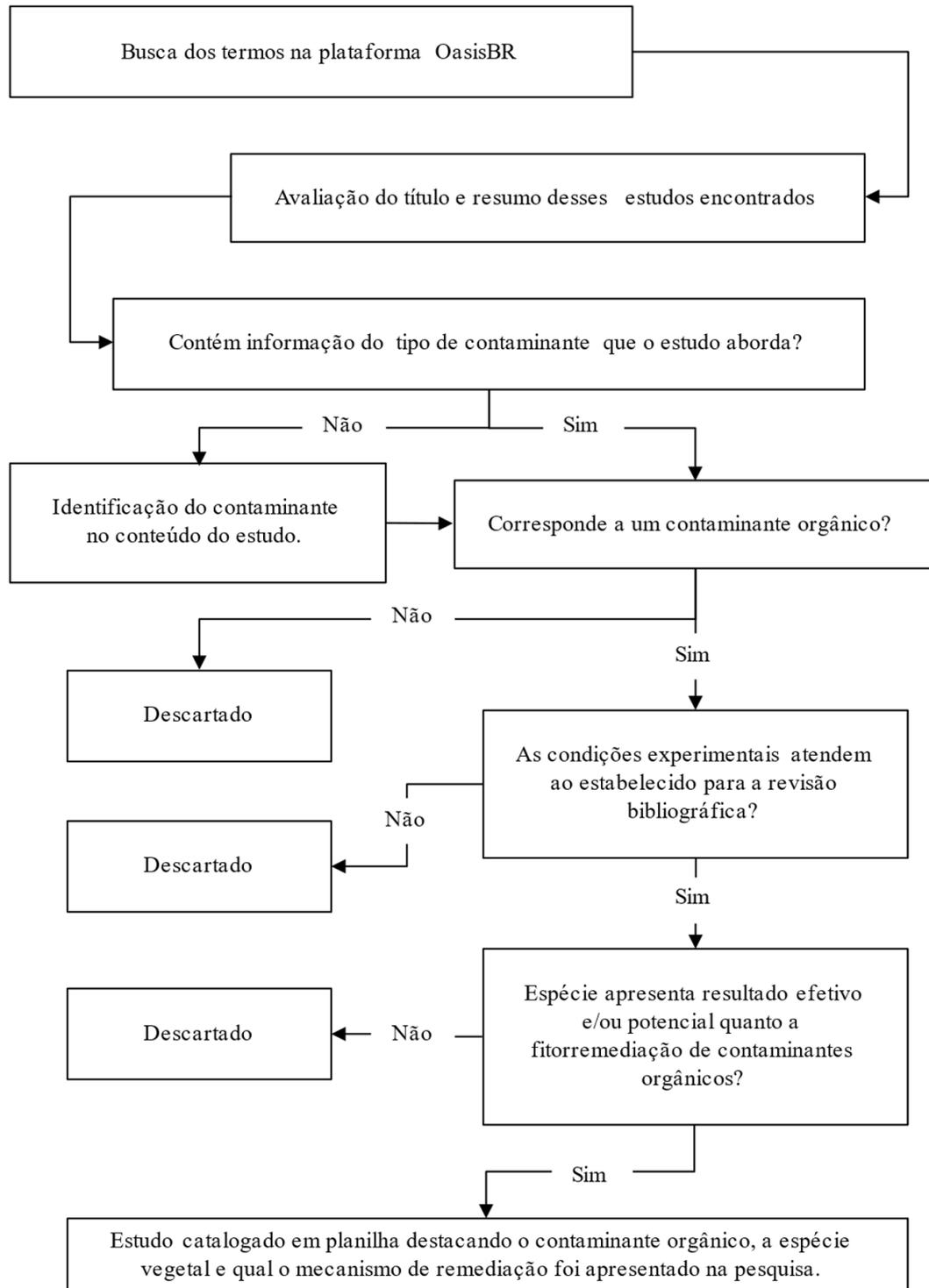
1. Os contaminantes abordados nos estudos deveriam ser todos do tipo orgânico.
2. Os cultivos das espécies vegetais proposto na metodologia dos estudos deveria ser conduzidos sem consórcio de bactérias e fungos inoculado, a fim de conhecermos o potencial isolado da espécie quanto a sua capacidade de atuar na remediação do contaminante proposto.
3. Além disso, esses cultivos deveriam ser conduzidos em porções de solo abrigados por vasos de planta ou em campo, excluindo-se os meios de crescimento com água. Isso se deve pois, permite maiores comparações fisio morfológicas entre as espécies encontradas como os crescimentos de raízes, concentrações de nutrientes no solo, contrastes que seriam diferentes quando analisado espécies cultivadas em meio aquoso.
4. Por fim, o estudo deveria constatar que a espécie vegetal utilizada apresentou resultado satisfatório e/ou potencial efeito na fitorremediação do contaminante estudado para ser representativo nesta revisão bibliográfica.

Atendendo a todos esses critérios, o estudo foi catalogado no formato de banco de dados em uma planilha utilizando o software Microsoft Excel, destacando a espécie vegetal, contaminante e qual o principal mecanismo de fitorremediação identificado no estudo. Ademais, todas as espécies vegetais tiveram seu nome científico e famílias botânicas identificadas, para maiores análises e discussões posteriormente.

A partir do momento que os artigos científicos retornados na busca com palavras-chave diferentes já haviam sido identificados e catalogados, foi determinado o fim da busca e estruturação dos resultados.

A Figura 1 indica as etapas para a seleção de estudos representativos para esta revisão em um fluxograma:

Figura 1 – Etapas para a seleção de estudos representativos seguindo os critérios pré-estabelecidos para a revisão bibliográfica buscando encontrar estudos que apresentam espécies vegetais eficientes na fitorremediação de solos contaminados por compostos orgânicos.

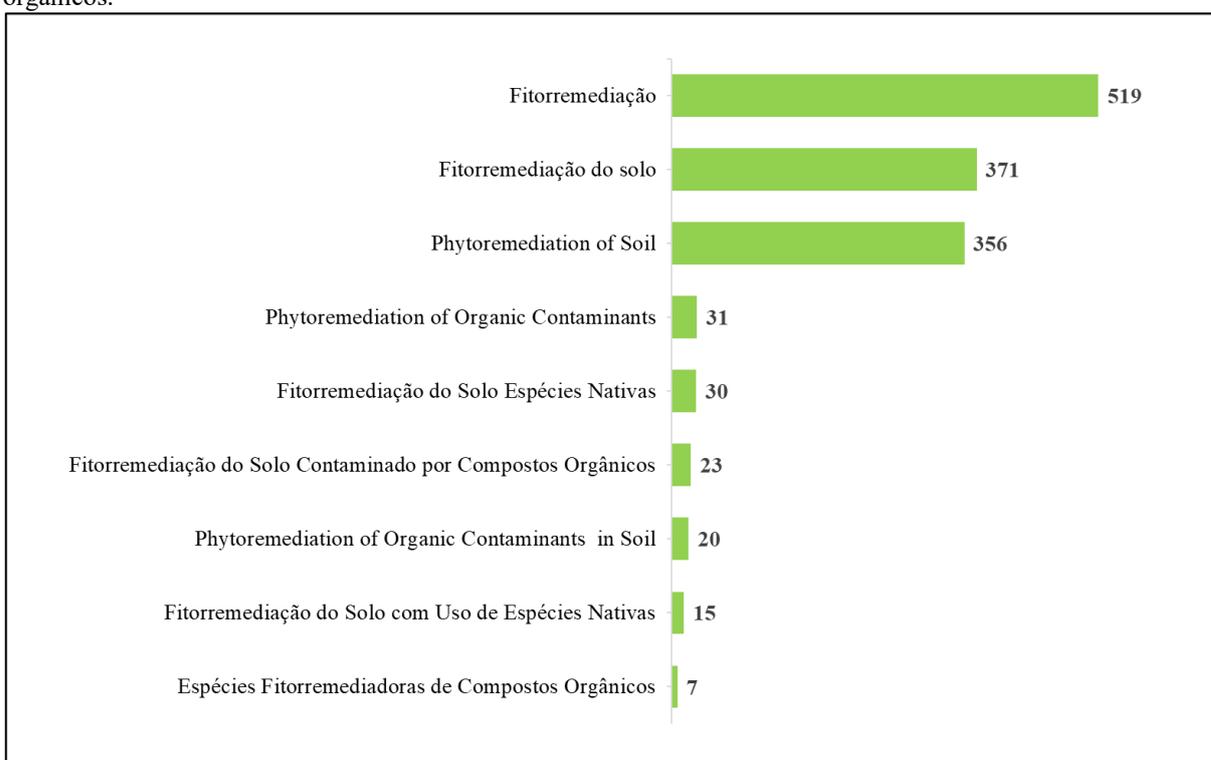


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4. RESULTADOS

Das buscas realizadas no oasis.br, o termo de busca que mais apresentou resultados foi a “fitorremediação”, com 519 resultados de trabalhos científicos, e a sentença “Espécies fitorremediadoras de compostos orgânicos” mostrou apenas 7 artigos. A Figura 2 mostra a relação dos resultados de pesquisa de acordo com as palavras-chave pesquisadas na plataforma.

Figura 2 – Número de estudos científicos apresentados para cada termo pesquisado na plataforma OasisBr visando a busca de espécies fitorremediadoras e os mecanismos de remediação do solo contaminados por compostos orgânicos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Utilizando o método expresso nesta monografia para a seleção dos estudos adequados à discussão, 65 pesquisas atenderam todos os critérios pré-estabelecidos. Esses estudos tiveram diversas informações relevantes extraídas e foram fonte de discussão e estudo para essa revisão.

Todos os contaminantes orgânicos encontrados foram separados em 4 grupos: herbicida, hidrocarbonetos do petróleo (PHC), pesticida e explosivos. Além disso, o número total de pesquisas também foi distribuído nesses agrupamentos, a fim de entender qual dos tipos de contaminante orgânico é o mais recorrente nos estudos de fitorremediação e o direcionamento dos estudos científicos na área. A Tabela 2 apresenta esse desdobramento.

Tabela 2 – Todos os contaminantes orgânicos encontrados divididos em 4 classes gerais (Explosivos, herbicidas, hidrocarbonetos do petróleo e pesticidas) e relacionados ao número de estudos que representam e a proporção em relação ao total.

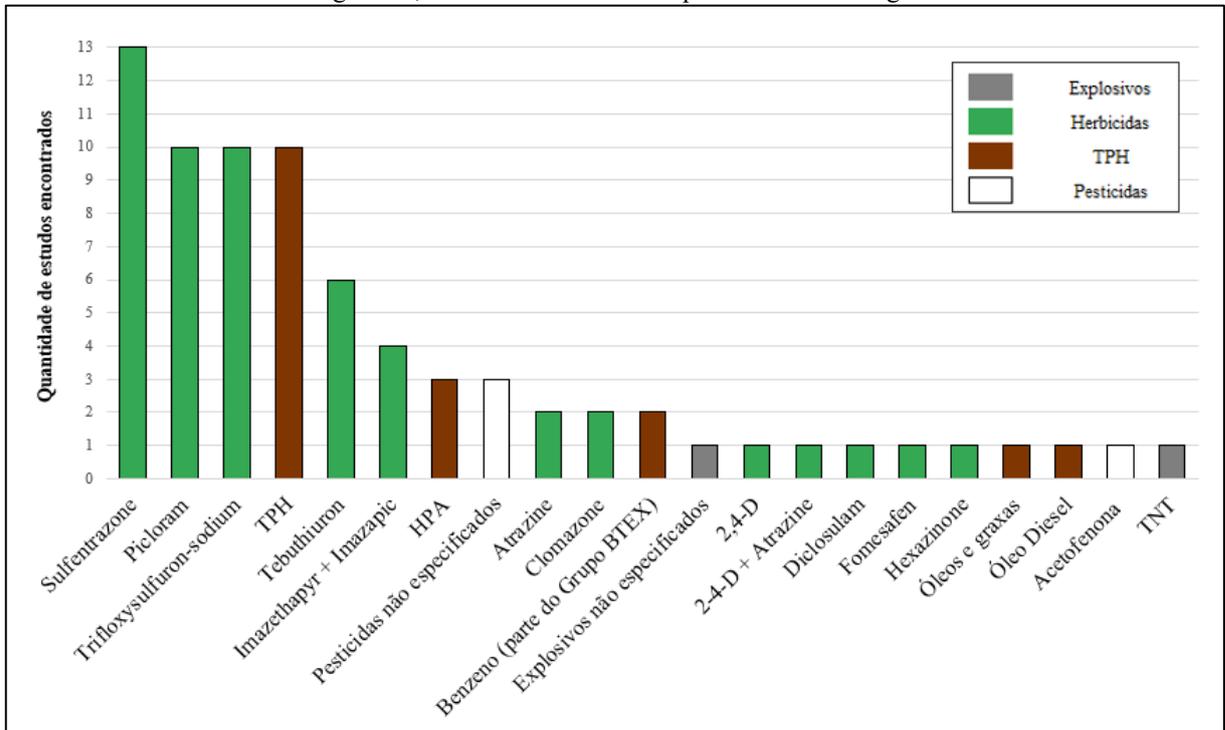
Classificação Geral	Contaminantes Orgânicos	Número de estudos (% do total)
Explosivos	Trinitrotolueno (TNT)	1 (1,6 %)
	Outros não especificados	
Herbicidas	2,4-D	48 (73,8 %)
	2-4-D + Atrazine	
	Atrazine	
	Clomazone	
	Diclosulam	
	Fomesafen	
	Hexazinone	
	Imazethapyr + Imazapic	
	Picloram	
	Sulfentrazone	
	Tebuthiuron	
	Trifloxysulfuron-sodium	
Hidrocarbonetos do Petróleo (PHC)	Benzeno (parte do Grupo BTEX)	13 (20%)
	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)	
	Hidrocarbonetos Totais do petróleo (TPH)	
	Óleos e graxas	
	Óleo Diesel	
Pesticidas	Acetofenona	3 (4,6%)
	Outros não especificados	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O sulfentrazone é o composto que mais apareceu nos estudos encontrados (13 estudos), seguidos do picloram, trifloxysulfuron-sodium e Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (TPH), todos com a mesma incidência (10 estudos) (Figura 3). Por fim, tebutiuron e imazethapyr + imazapic foram na sequência os que mais tiveram interações com a fitorremediação, aparecendo em 6 e 4 estudos, respectivamente. Os HPA e pesticidas não especificados apareceram em 3

estudos, seguidos do atrazine, clomazone e benzeno, com 2 estudos, e os demais em apenas 1 único estudo.

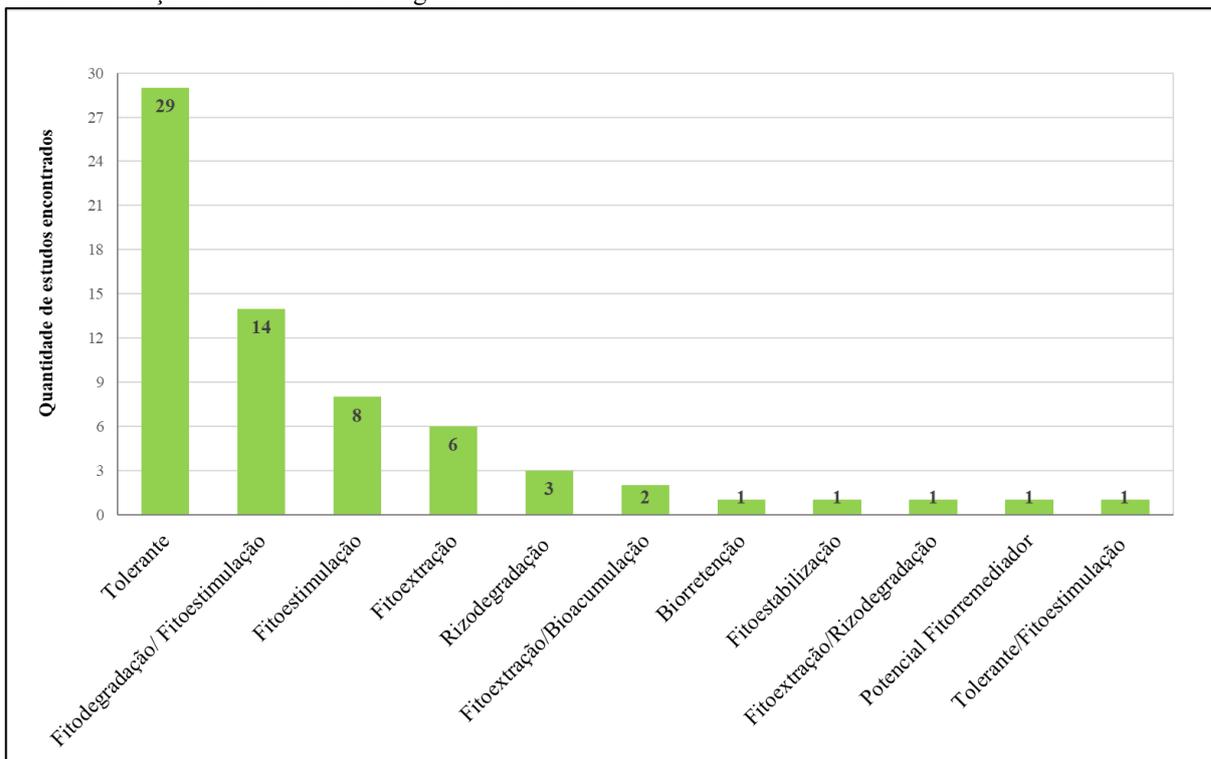
Figura 3 – Quantidade de estudos realizados por autores diferentes e que buscam aprofundar na fitorremediação de um mesmo contaminante orgânicos, identificados em cores quanto a sua classe geral.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Esses contaminantes sofreram intervenção das espécies vegetais por meio de diversos mecanismos de remediação. A maior parte das interações plantas e contaminantes apresentaram tolerância, seguido por fitodegradação ou fitoestimulação, no qual não especificam exatamente qual o mecanismo de fato. A fitoestimulação foi na sequência o que mais tratou os solos e a fitoextração também apareceram consideravelmente (Figura 4).

Figura 4 – Mecanismos de fitorremediação e a recorrência que foram citados nos estudos encontrados referentes a fitorremediação de contaminantes orgânicos no solo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Foram encontradas 3 espécies (2 famílias) de plantas tolerantes ou potencialmente remediadoras de explosivos (Tabela 3), 36 espécies (22 famílias) para hidrocarbonetos do petróleo (Tabela 4), 49 espécies (12 famílias) para herbicidas (Tabela 5) e 6 espécies (5 famílias) para pesticidas (Tabela 6).

Tabela 3 – Contaminantes orgânicos do Grupo “Explosivos” relacionados com as plantas utilizadas na sua fitorremediação.

Contaminantes	Nome científico (Nome comum)	Família botânica	Mecanismo	Referência Bibliográfica
Explosivos não especificados	<i>Vertivera zizanioides</i> (L.) Nash (VERTIVER)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Zea mays</i> L. (MILHO)	Poaceae	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
TNT	<i>Helianthus annuus</i> L (GIRASSOL)	Asteraceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 4 – Contaminantes orgânicos do Grupo “Hidrocarbonetos do Petróleo (PHC)” relacionados com as plantas utilizadas na sua fitorremediação.

Contaminantes	Nome científico (Nome comum)	Família botânica	Mecanismo	Referência Bibliográfica
BTEX	<i>Festuca</i> L. (GRAMA)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Impatiens walleriana</i> (BEIJINHO)	Balsaminaceae	Fitoextração	(MEDEIROS, 2015)
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)	<i>Echinochloa polystachya</i> (CAPIM-CANARANA)	Poaceae	Tolerante	(ALARCON et al., 2006)
	<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern. (MOSTARDA-DA-ÍNDIA)	Brassicaceae Brunett	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Helianthus annuus</i> L. (GIRASSOL)	Asteraceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Stenotaphrum secundatum</i> (GRAMA-INGLESA)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Festuca</i> L. (GRAMA)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Erythrina velutina</i> Willd (MULUNGU, SUINÃ)	Fabaceae	Fitoextração/Bioacumulação	(RODRIGUES, 2019)
	<i>Spartina alterniflora</i> (CAPIM-MARINHO)	Poaceae	Tolerante	(VIANA et al., 2007)
	<i>Echinochloa polystachya</i> (CAPIM-CANARANA)	Poaceae	Tolerante	(BIAZÃO, 2012)
	<i>Echinochloa polystachya</i> (CAPIM-CANARANA)	Poaceae	Tolerante	(LOPES et al., 2009)
	<i>Axonopus compressus</i> (GRAMA-TAPETE)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
Hidrocarbonetos Totais do petróleo (TPH)	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby (MATA-PASTO)	Fabaceae	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Vertivera zizanioides</i> (L.) Nash (VERTIVER)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Zea mays</i> L. (MILHO)	Poaceae	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Stenotaphrum secundatum</i> (GRAMA-INGLESA)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Festuca</i> L. (GRAMA)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Trifolium pratense</i> L. (TREVO VERMELHO)	Fabaceae	Tolerante	(TONEL, 2014)
	<i>Vigna unguiculata</i> L. (FEIJÃO-MIÚDO)	Fabaceae	Tolerante	(TONEL, 2014)
	<i>Rhizophora mangle</i> (MANGUE VERMELHO)	Rhizophoraceae	Fitoextração/Rizodegradação	(SILVA, 2013)
	<i>Mentha x Villosa</i> (HORTELÃ)	Lamiaceae	Tolerante	(WOLFF, 2011)
	<i>Spartina alterniflora</i> (CAPIM-MARINHO)	Poaceae	Fitoestabilização	(VIANA, 2008)

	<i>Allophylus edulis</i> (CHAL-CHAL)	Sapindaceae	Tolerante	(NOGUEIRA et al., 2011)
	<i>Typha latifolia</i> L. (TABOÁ)	Typhaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(PAVANELLI, 2007)
Óleo Diesel	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Tolerante	(BALLIANA, 2015)
	<i>Syngonium angustatum</i> Schott (SINGÔNIO)	Araceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Asparagus densiflorus</i> (Kunth) Jessop 'Sprengeri' (ASPARGO)	Asparagaceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Sansevieria trifasciata</i> var. <i>laurentii</i> (De Wild.) N.E. Br (ESPADA-DE-SÃO-JORGE)	Asparagaceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Zebrina purpusii</i> G. Brückn (LAMBARI-ROXO)	Commelinaceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Dichondra microcalyx</i> (Hallier f.) Fabris (DICONDRA)	Convolvulaceae Juss.	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Curculigo capitulata</i> (Lour.) Kuntze (CAPIM-PALMEIRA)	Hypoxidaceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Dietes bicolor</i> Sweet ex Klatt (MOREIA-BICOLOR, DIETES, MOREIA)	Iridaceae Juss.	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Neomarica caerulea</i> (Ker Gawl.) Sprague (LÍRIO-ROXO-DAS-PEDRAS)	Iridaceae Juss.	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
Óleos e graxas	<i>Dianella ensifolia</i> L. DC (DIANELA, DRACENA-GUARDA-CHUVA)	Xanthorrhoeaceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Hemerocallis x hybrida</i> Bergmans (LÍRIO-DE-SÃO-JOSÉ)	Xanthorrhoeaceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Wedelia paludosa</i> DC. (MALMEQUER, VEDÉLIA, PICÃO-DA-PRAIA)	Asteraceae Bercht. & J. Presl.	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Galinsoga parviflora</i> (PICÃO-BRANCO)	Asteraceae Bercht. & J. Presl.	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Costus spiralis</i> (Jacq.) Roscoe (CANA-DO-BREJO)	Costaceae Nakai	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Heliconia psittacorum</i> L.f. (HELICÔNIA)	Musaceae	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Ctenanthe setosa</i> (Roscoe) Eichler (MARANTA-CINZA)	Marantaceae R.Brown	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Alternanthera brasiliana</i> (PENICILINA)	Amaranthaceae A.Juss	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Allamanda cathartica</i> L. (ALAMANDA AMARELA)	Apocynaceae Juss.	Biorretenção	(PINHEIRO, 2017)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 5 – Contaminantes orgânicos do Grupo “Herbicidas” relacionados com as plantas utilizadas na sua fitorremediação.

Contaminantes	Nome científico (Nome comum)	Família botânica	Mecanismo	Referência Bibliográfica
	<i>Inga marginata</i> (INGÁ)	Fabaceae	Fitoestimulação	(FIORE, 2014)
2-4-D + Atrazine	<i>Schizolobium parahyba</i> (GUAPURUVU)	Fabaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Handroanthus serratifolius</i> (IPÊ-AMARELO)	Bignoniaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)

	<i>Jacaranda puberula</i> (CAROBINHA)	Bignoniaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Cedrela fissilis</i> (CEDRO)	Meliaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Calophyllum brasiliensis</i> (LANDIN)	Calophyllaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Psidium myrsinoides</i> (GOIABINHA)	Myrtaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Tibouchina glandulosa</i> (QUARESMEIRA)	Melastomataceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Caesalpinia férrea</i> (PAU-FERRO)	Fabaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Caesalpinia pluviosa</i> (SIBIPIRUNA)	Fabaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Terminalia argêntea</i> (CAPITÃO-DO-CAMPO)	Combretaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
	<i>Schinopsis brasiliensis</i> (BRAÚNA)	Anacardiaceae	Tolerante	(FIORE, 2014)
2,4-D	<i>Eremanthus crotonoides</i> DC. (CANDEIA)	Asteraceae	Tolerante	(AGUIAR et al., 2018)
Atrazine	<i>Kochia scoparia</i> (KOCHIA)	Chenopodioideae	Rizodegradação	(PIRES et al., 2003)
	<i>Eremanthus crotonoides</i> DC. (CANDEIA)	Asteraceae	Tolerante	(AGUIAR et al., 2018)
Clomazone	<i>Eremanthus crotonoides</i> DC. (CANDEIA)	Asteraceae	Tolerante	(AGUIAR et al., 2018)
	<i>Inga marginata</i> (INGÁ)	Fabaceae	Tolerante	(CABRAL et al., 2017)
	<i>Schizolobium parahyba</i> (GUAPURUVU)	Fabaceae	Tolerante	(CABRAL et al., 2017)
	<i>Handroanthus serratifolius</i> (IPÊ-AMARELO)	Bignoniaceae	Tolerante	(CABRAL et al., 2017)
Diclosulam	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante/Fitoestimulação	(SOUZA, 2017)
	<i>Cajanus cajan</i> (GUANDU-ANÃO)	Fabaceae	Tolerante/Fitoestimulação	(SOUZA, 2017)
Fomesafen	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Pennisetum glaucum</i> (MILHETO)	Poaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Mucuna puriens</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Sorghum bicolor</i> (SORGO)	Poaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Vicia sativa</i> (ERVILHACA)	Fabaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Avena sativa</i> (AVEIA)	Poaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Lupinus albus</i> (TREMOCO-BRANCO)	Fabaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
Hexazinone	<i>Cajanus cajan</i> (GUANDU-ANÃO)	Fabaceae	Tolerante	(SANTOS et al., 2019)
Imazethapyr + Imazapic	<i>Glycine max</i> (SOJA)	Fabaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)
	<i>Lolium multiflorum</i> (AZEVÉM-ITALIANO)	Poaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)
	<i>Lotus corniculatus</i> (CORNICHÃO)	Fabaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)
	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)
	<i>Vicia sativa</i> (ERVILHACA)	Fabaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)
	<i>Raphanus sativus</i> (RABANETE)	Brassicaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)

	<i>Triticum aestivum</i> (TRIGO)	Poaceae	Tolerante	(SOUTO et al., 2015)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Fitoestimulação	(SOUTO et al., 2013)
	<i>Trifolium repens</i> (TREVO BRANCO)	Fabaceae	Rizodegradação	(SOUTO, 2014)
	<i>Lotus Corniculatus</i> (CORNICHÃO)	Fabaceae	Rizodegradação	(SOUTO, 2014)
	<i>Vicia sativa</i> (ERVILHACA)	Fabaceae	Rizodegradação	(SOUTO, 2014)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Rizodegradação	(SOUTO, 2014)
	<i>Glycine Max</i> (SOJA)	Fabaceae	Rizodegradação	(SOUTO, 2014)
	<i>Vicia sativa</i> (ERVILHACA)	Fabaceae	Tolerante	(GALON et al., 2014)
	<i>Zea mays L.</i> (MILHO)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Sorghum bicolor x Sorghum Sudanense</i> (SORGO)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Sorghum bicolor x Sorghum Sudanense cv. Jumbo</i> (SORGO)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Eleusine coracana</i> (CAPIM-PÉ-DE-GALINHA-GIGANTE)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Pennisetum glaucum</i> (MILHETO)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Brachiaria brizantha cv. MG-5 Vitória</i> (BRAQUIÁRIA)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Brachiaria brizantha cv. Mulato</i> (BRAQUIÁRIA)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Pennisetum glaucum</i> (MILHETO)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Brachiaria decumbens</i> (BRAQUIÁRIA)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Brachiaria ruziziensis</i> (BRAQUIÁRIA)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Brachiaria Humidicola</i> (BRAQUIÁRIA)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Panicum maximum cv. Tanzânia</i> (CAPIM-TÂNZANIA)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Panicum maximum cv. Mombaça</i> (CAPIM-MOMBAÇA)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
Picloram	<i>Panicum maximum cv. Massai</i> (CAPIM-MASSAI)	Poaceae	Tolerante	(CARMO et al., 2008)
	<i>Eleusine coracana</i> (CAPIM-PÉ-DE-GALINHA-GIGANTE)	Poaceae	Fitoextração	(PROCÓPIO et al., 2008)
	<i>Eleusine coracana</i> (CAPIM-PÉ-DE-GALINHA-GIGANTE)	Poaceae	Fitoestimulação	(SILVA et al., 2012)
	<i>Brachiaria decumbens</i> (BRAQUIÁRIA)	Poaceae	Tolerante	(BELO, 2010)
	<i>Eleusine coracana</i> (CAPIM-PÉ-DE-GALINHA-GIGANTE)	Poaceae	Tolerante	(BELO, 2010)
	<i>Brachiaria brizantha</i> (BRAQUIÁRIA)	Poaceae	Tolerante	(BELO, 2010)
	<i>Zea mays L.</i> (MILHO)	Poaceae	Fitoestimulação	(SOUZA et al., 2017)
	<i>Urochloa brizantha</i> (CAPIM-MARANDU)	Poaceae	Fitoextração/Bioacumulação	(FRANCO et al., 2016)
	<i>Urochloa brizantha cv. Piatã</i> (BRAQUIÁRIA)	Poaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(FRANCO et al., 2014)
	<i>Eleusine coracana</i> (CAPIM-PÉ-DE-GALINHA-GIGANTE)	Poaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(SILVA, 2011)
	<i>Eleusine coracana</i> (CAPIM-PÉ-DE-GALINHA-GIGANTE)	Poaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(ASSIS et al., 2010)
	<i>Panicum Maximum cv. Tanzânia</i> (CAPIM-TÂNZANIA)	Poaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(PROCÓPIO et al., 2009)

	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante	(MADALÃO et al., 2013)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Tolerante	(MADALÃO et al., 2013)
	<i>Dolichos lablab</i> (LAB-LABE)	Fabaceae	Tolerante	(MADALÃO et al., 2013)
	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Fitoextração	(MADALÃO et al., 2012)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(FERRAÇO et al., 2017)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitoestimulação	(MADALÃO, 2014)
	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Pennisetum glaucum</i> (MILHETO)	Poaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Mucuna puriens</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Sorghum bicolor</i> (SORGO)	Poaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Vicia sativa</i> (ERVILHACA)	Fabaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
Sulfentrazone	<i>Avena sativa</i> (AVEIA)	Poaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Lupinus albus</i> (TREMOÇO-BRANCO)	Fabaceae	Tolerante	(ALVES, 2016)
	<i>Cajanus cajan</i> (GUANDU-ANÃO)	Fabaceae	Tolerante	(MADALÃO et al., 2012)
	<i>Leucaena leucocephala</i> (LEUCENA)	Fabaceae	Tolerante	(MADALÃO et al., 2012)
	<i>Inga marginata</i> (INGÁ)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(SILVA FILHO, 2018)
	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(BELO et al., 2016)
	<i>Helianthus annuus</i> (GIRASSOL)	Asteraceae	Tolerante	(BELO et al., 2011)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(BELO et al., 2016)
	<i>Helianthus annuus</i> (GIRASSOL)	Asteraceae	Tolerante	(BELO, 2010)
	<i>Cedrela fissilis</i> (CEDRO)	Meliaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(SILVA FILHO, 2018)
	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante	(FERRAÇO et al., 2019)
	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Fitoestimulação	(MADALÃO et al., 2012)
	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante	(MADALÃO, 2011)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(BELO, 2006)
Tebuthiuron	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(BELO, 2006)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(PIRES et al., 2005)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Tolerante	(PIRES et al., 2003)

	<i>Stizolobim deeringiua</i> (MUCUNA-ANÃ)	Fabaceae	Tolerante	(PIRES et al., 2003)
	<i>Arachis hypogaea</i> (AMENDOIM)	Fabaceae	Fitoextração	(CONCIANI, 2015)
	<i>Sorghum bicolor</i> (SORGO)	Poaceae	Fitoextração	(CONCIANI, 2015)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Tolerante	(PIRES et al., 2003)
	<i>Lupinus albus</i> (TREMOÇO-BRANCO)	Fabaceae	Tolerante	(PIRES, 2003)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Tolerante	(PIRES, 2003)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Tolerante	(SANTOS et al., 2007)
	<i>Mucuna aterrima</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(SANTOS et al., 2004)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(SANTOS et al., 2004)
	<i>Mucuna aterrima</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Tolerante	(SANTOS et al., 2004)
	<i>Lupinus albus</i> (TREMOÇO-BRANCO)	Fabaceae	Tolerante	(SANTOS et al., 2004)
	<i>Calopogonium muconoides</i> (CALOPOGÔNIO)	Fabaceae	Tolerante	(SANTOS et al., 2004)
	<i>Crotalaria spectabilis</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante	(SANTOS et al., 2004)
	<i>Mucuna cinereum</i> (MUCUNA-CINZA)	Fabaceae	Tolerante	(SANTOS et al., 2004) (PROCÓPIO et al., 2005)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(SANTOS, 2006)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(PROCÓPIO et al., 2004)
Trifloxysulfuron-sodium	<i>Stizolobim deeringiua</i> (MUCUNA-ANÃ)	Fabaceae	Tolerante	(PROCÓPIO et al., 2004)
	<i>Dolichos lablab</i> (LAB-LABE)	Fabaceae	Tolerante	(PROCÓPIO et al., 2004)
	<i>Crotalaria juncea</i> (CROTALÁRIA)	Fabaceae	Tolerante	(PROCÓPIO et al., 2004)
	<i>Stylosantes guianensis</i> (MINEIRÃO)	Fabaceae	Tolerante	(PROCÓPIO et al., 2004)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(PROCÓPIO et al., 2007)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitodegradação/ Fitoestimulação	(PROCÓPIO et al., 2007)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Fitoestimulação	(SANTOS et al., 2007)
	<i>Canavalia ensiformis</i> (FEIJÃO-DE-PORCO)	Fabaceae	Fitoestimulação	(BELO et al., 2007)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Fitoestimulação	(BELO et al., 2007)
	<i>Stizolobium aterrimum</i> (MUCUNA-PRETA)	Fabaceae	Tolerante	(SANTOS et al., 2010)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

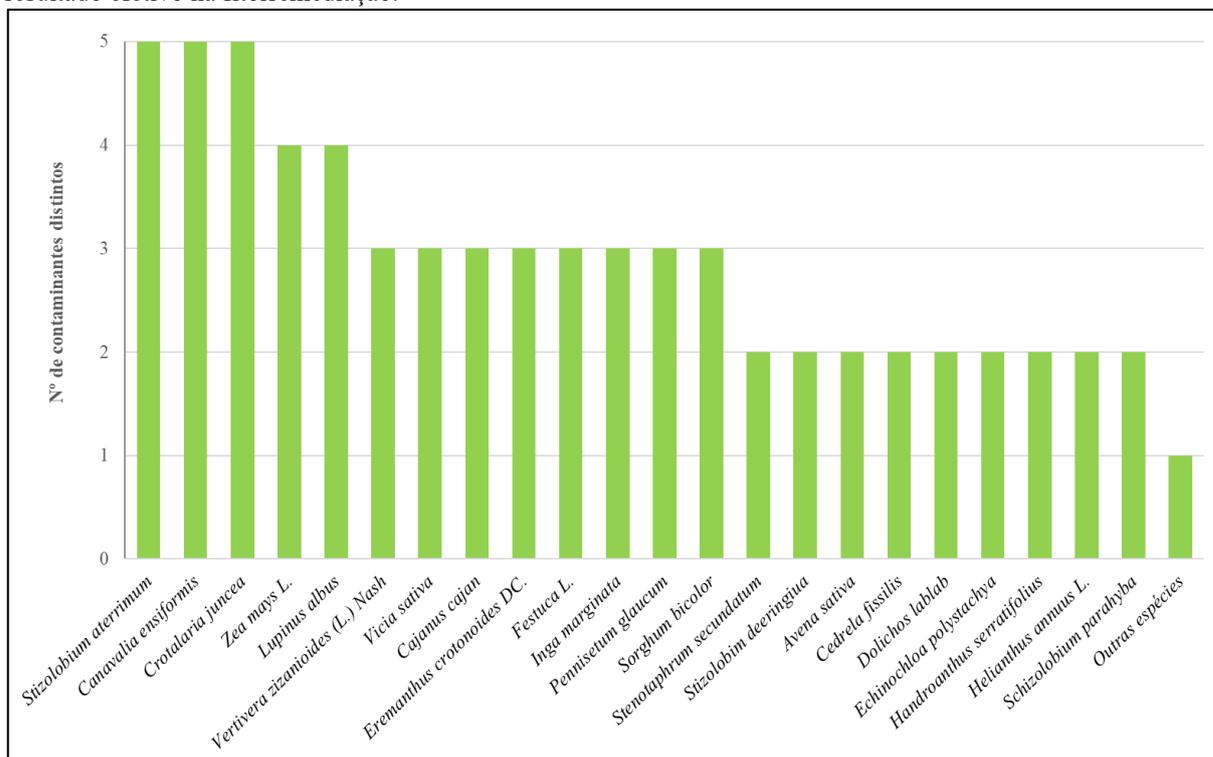
Tabela 6 – Contaminantes orgânicos do Grupo “Pesticidas” relacionados com as plantas utilizadas na sua fitorremediação.

Contaminantes	Nome científico (Nome comum)	Família botânica	Mecanismo	Referência Bibliográfica
Acetofenona	<i>Solanum nigrum L</i> (ERVA-MOURA)	Solanaceae	Fitoextração	(MOREIRA, 2013)
Pesticidas	<i>Vertivera zizanioides (L.) Nash</i> (VERTIVER)	Poaceae Bamhart	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
	<i>Zea mays L.</i> (MILHO)	Poaceae	Potencial Fitorremediador	(PINHEIRO, 2017)
Pesticidas	<i>Ricinus communis L.</i> (MAMONA)	Euphorbiaceae	Rizodegradação	(RISSATO et al., 2015)
Organoclorados	<i>Eucalyptus grandis</i> (EUCALIPTO)	Myrtaceae	Fitoextração	(BUOSI et al., 2004)
	<i>Corymbia citriodora</i> (EUCALIPTO-CIDRÓ)	Myrtaceae	Fitoextração	(BUOSI et al., 2004)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Dentre todas as espécies relatadas (Tabelas 3, 4, 5 e 6), identificamos quais foram efetivas na fitorremediação da maior diversidade de contaminantes (Figura 5) de acordo com o critério 4 apresentado na metodologia deste trabalho.

Figura 5 – Espécies vegetais relacionadas ao número de contaminantes orgânicos que conseguiram apresentar resultado efetivo na fitorremediação.

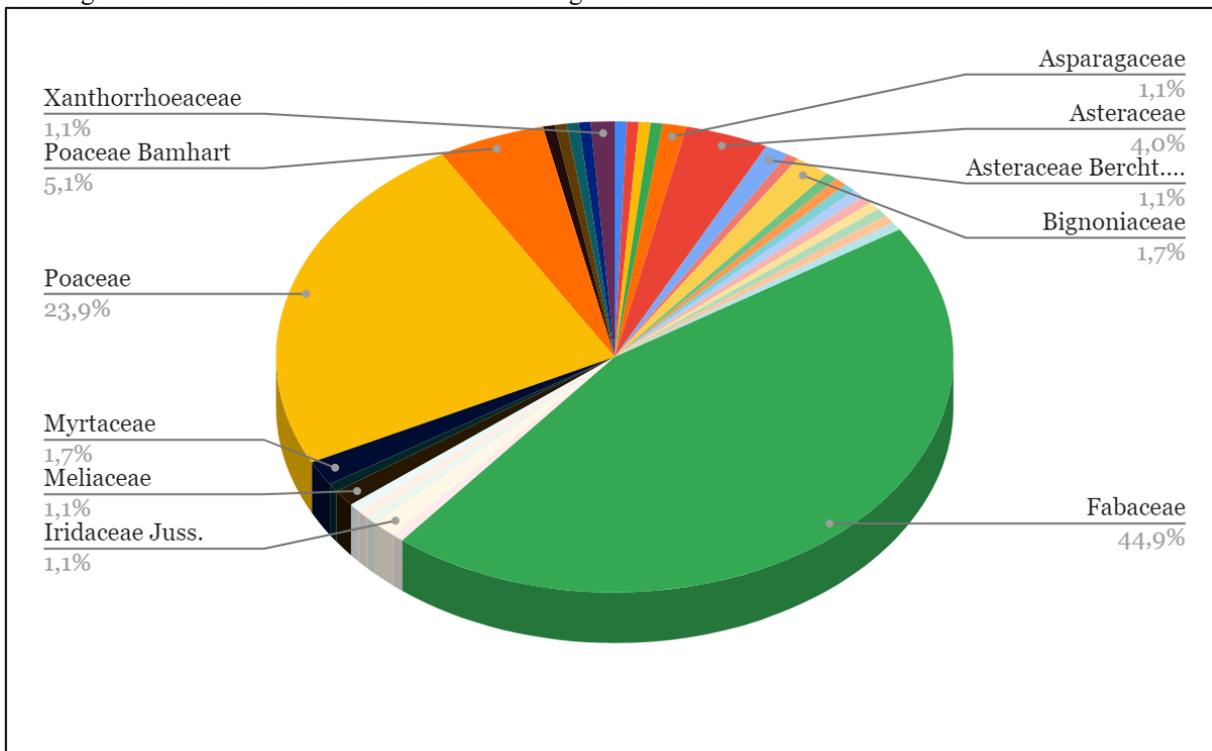


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Desse modo as espécies crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) foram as que mais apresentaram efetividade na fitorremediação de contaminantes distintos, aparecendo como agente mitigador da contaminação do solo em 5 dos 21 compostos encontrados como detratores do solo. Seguido por milho (*Zea mays L.*) e o tremoço-branco (*Lupinus albus*) atrelados como boas fitorremediadoras de 4 contaminantes.

O levantamento das famílias botânica dessas espécies também contribui para o enriquecimento de informação deste estudo, pois aumenta a gama de plantas que podem ser efetivas na fitorremediação, tornando o processo mais viável e idealizando novas possibilidade de experimentos científicos. Agrupando as espécies vegetais mencionadas nesse estudo em famílias, a Fabaceae é a de maior influência, representando 44.9% das espécies, seguida por Poaceae (23.9%), Poaceae Bamhart (5.1%) e Asteraceae (4.0%) (Figura 6).

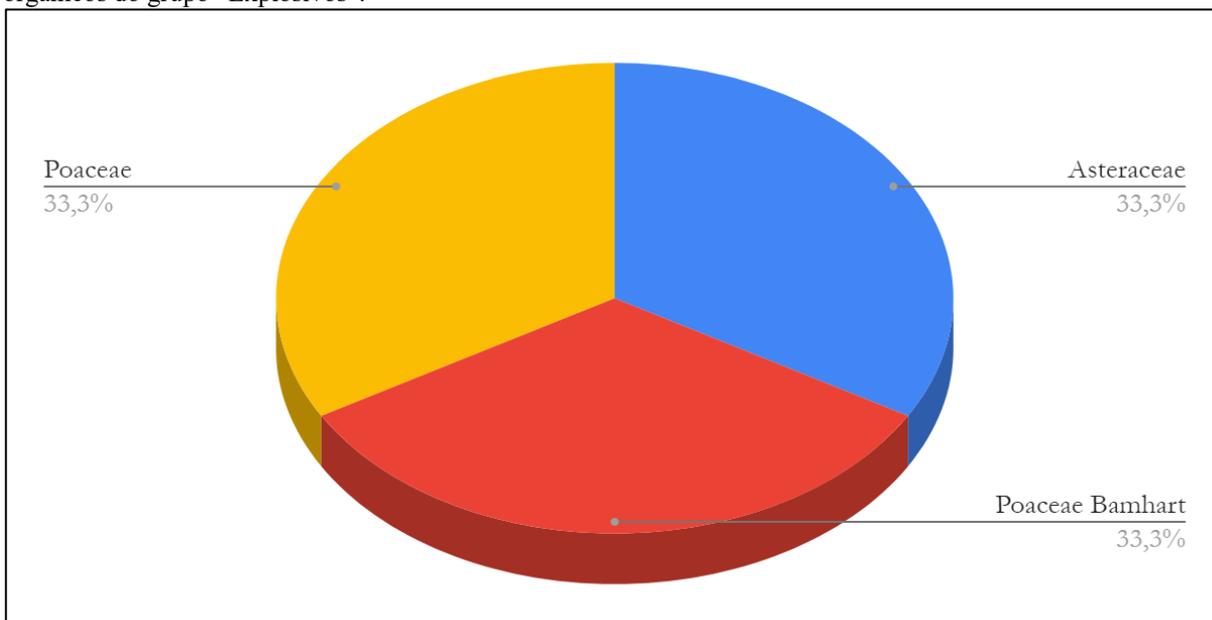
Figura 6 – Representatividade das famílias botânicas relacionadas às espécies vegetais encontradas nas pesquisas como agentes fitorremediadoras de contaminantes orgânicos no solo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

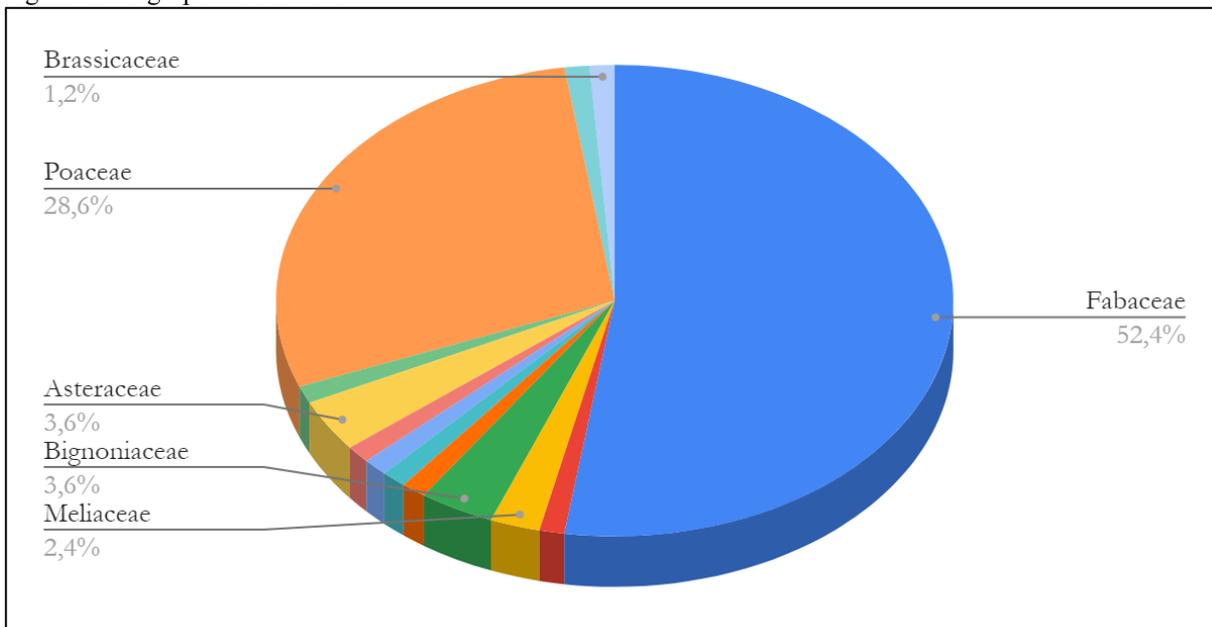
As famílias botânicas que mais aparecem em cada grupo geral dos contaminantes, também podem ser notados na figura 7, 8, 9 e 10:

Figura 7 – Proporção de famílias botânicas identificadas nos estudos envolvendo a fitorremediação dos compostos orgânicos do grupo “Explosivos”.



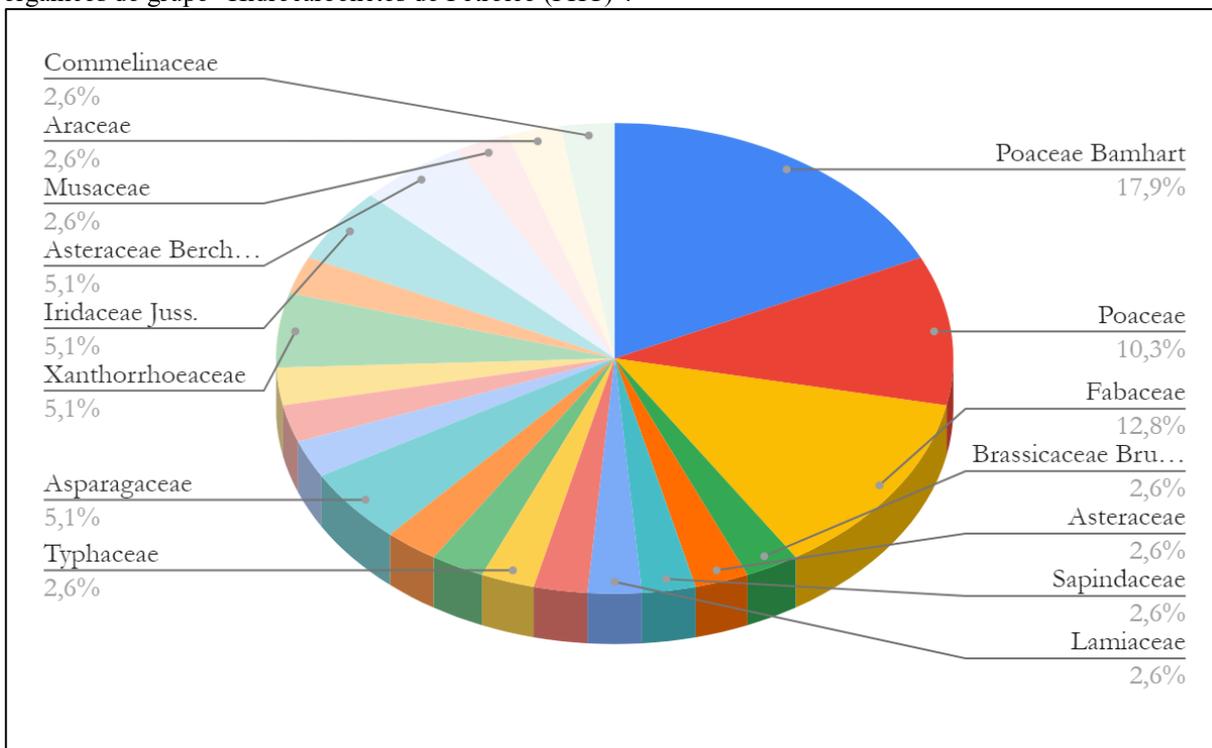
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 8 – Proporção de famílias botânicas identificadas nos estudos envolvendo a fitorremediação dos compostos orgânicos do grupo “Herbicidas”.



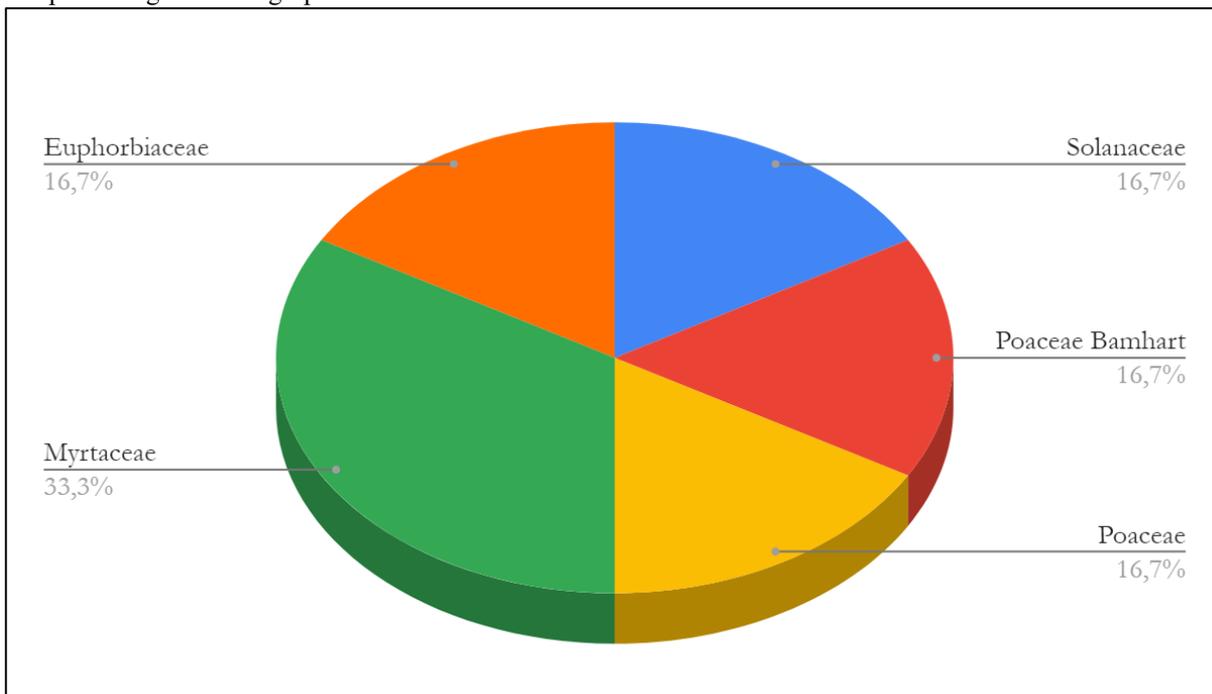
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 9 – Proporção de famílias botânicas identificadas nos estudos envolvendo a fitorremediação dos compostos orgânicos do grupo “Hidrocarbonetos do Petróleo (PHC)”.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 10 – Proporção de famílias botânicas identificadas nos estudos envolvendo a fitorremediação dos compostos orgânicos do grupo “Pesticidas”.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No grupo dos explosivos temos as espécies da família Poaceae como predominantes, assim como no grupo dos TPH. Já no grupo dos herbicidas temos as Fabaceae como maioria e em pesticidas as Myrtaceae. Essas informações são extremamente importantes para enriquecer a discussão e traçar pontos em comum das espécies que mais contribuíram para a efetividade das fitorremediações apresentadas.

5. DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho mostram que entre 519 artigos pesquisados, somente 65 estudos mostraram resultados efetivos quanto a fitorremediação de compostos orgânicos, o que representa 12,54%. A maior parte dos estudos tratava do processo de fitorremediação de contaminantes inorgânicos dispostos no solo e alguns estudos não se enquadravam nas condições experimentais previamente estabelecida. As pesquisas com metais pesados ou compostos inorgânicos são as mais difundidas, mas outros compostos têm sido alvo de estudos como o de agrotóxicos. Além disso, trabalhar com compostos orgânicos é mais difícil devido a diversidade molecular, complexidade molecular e as constantes transformações que estão sujeitas (SHAHZADI, 2021)

A divisão das pesquisas encontradas em subgrupos (explosivos, herbicidas, hidrocarbonetos de petróleo e pesticidas), ajudaram a entender o direcionamento dos estudos de fitorremediação para os contaminantes orgânicos, apontando para os herbicidas serem a maior preocupação no assunto, seguido dos hidrocarbonetos do petróleo, pesticidas e explosivos (Tabela 2).

Cada um dos herbicidas pode alterar variáveis do solo que afetam sua qualidade (SHAHZADI, 2021). Porém, os pontos que a maioria apresenta em comum é a persistência de resíduos no solo que prejudicam as culturas sucessivas a sua aplicação (BELO, 2006; SHAHZADI, 2021). Por exemplo, o tebuthiuron e trifloxysulfuron-sodium usados nas culturas de cana-de-açúcar e algodão têm deixado resíduos nocivos (efeito conhecido como *carryover*) para as culturas sucessivas de feijão e soja consideradas culturas sensíveis sendo objetos de estudo de fitorremediação (BELO, 2006; DUQUE *et al.*, 2021).

A aplicação do trifloxysulfuron-sodium, no qual o fabricante recomenda 8 meses de intervalo para o plantio de culturas sensíveis como o feijão, prejudicando a produtividade no inverno dos agricultores (SANTOS, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2018). Ainda nesse contexto, o efeito residual dos herbicidas pode variar de alguns meses até três anos ou mais (BASSO, 2019).

Além dos danos causados às culturas *carryover*, a persistência dos herbicidas no solo pode levar à contaminação de mananciais de água subterrânea pela lixiviação e, ou, escoamento superficial, o que caracteriza a efetividade da fitorremediação como uma ação mitigadora e sustentável à agricultura, mesmo que a motivação principal dos estudos sejam a permanência da produtividade agrícola (MADALÃO, 2013; SHAHZADI, 2021).

Apesar dos efeitos negativos sobre as plantas, há o relato de plantas potencialmente remediadoras de herbicidas. As 49 espécies de 12 famílias foram atestadas serem fitorremediadoras dos herbicidas 2,4-D, 2,4-D + atrazine, atrazine clomazone, diclosulam, fomesafen, hexazinone, imaethapyr + imazapic, picloram, sulfentrazone, tebuthiuron e trifloxysulfuron-sodium, por serem tolerantes e/ou promoverem a bioacumulação, fitoestimulação, fitoextração, fitodegradação e rizodegradação (Tabela 5).

No caso dos hidrocarbonetos do petróleo, os resíduos oriundos da indústria do petróleo são preocupação atual do setor produtivo e das agências ambientais por serem compostos orgânicos persistentes no ambiente e possuírem característica de bioacumulação nos organismos (VIANA, 2007; SHAHZADI, 2021).

Desse modo, os diversos segmentos da indústria do petróleo apresentam impactos ao meio ambiente, desde a exploração e produção de petróleo e gás, no refino e transporte e na distribuição e revenda de combustíveis. O solo contaminado por petróleo gera problemas ecotoxicológicos resultantes do potencial tóxico, carcinogênico e mutagênico dos hidrocarbonetos para as plantas, microrganismos e animais (LOPES, 2009).

Visando a importância de reverter o cenário descrito, o estudo aponta 36 espécies de 22 famílias que atuam na mitigação do solo contaminados por petróleo, sendo hidrocarbonetos totais do petróleo (TPH) e/ou derivados como substâncias BTEX, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), óleos, graxas e óleo diesel. De acordo com as fontes encontradas, essas espécies apontam potencial fitorremediador e mecanismos que promovem a biorretenção, fitoestabilização, fitodegradação, fitoestimulação, fitoextração e/ou tolerância (Tabela 4).

Os pesticidas e explosivos, mesmo pouco difundidos em relação aos grupos comentados anteriormente, apresentam grandes preocupações relacionadas a contaminação do solo e conseqüentemente, ao meio ambiente. Uma das características indesejáveis dos pesticidas, no ponto de vista ambiental, é a persistência, que consiste na capacidade das substâncias em permanecer inalteradas e ativas por muito tempo no solo, na água e nos alimentos (BOUSI, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2018).

Existem preocupações e constatações desses poluentes na água utilizada para consumo humano e a dificuldade de neutralizá-lo antes que essa difusão acontece por conta da estrutura química dos pesticidas, pois muitos apresentam características recalcitrantes e resistem por muito tempo no ambiente (MOREIRA, 2013; CARVALHO *et al.*, 2019). O estudo aponta 6 espécies vegetais de 5 famílias que atuam na mitigação de solos expostos a contaminantes desse

grupo como a acetofenona e organoclorados. Relatos mostram potencial fitorremediador e/ou estímulo da fitoextração e rizodegradação pelas espécies (Tabela 6).

Já os explosivos, são poluentes orgânicos tóxicos sendo as principais fontes de contaminação por estes compostos os locais de confrontos de guerra, a fabricação de munições e explosivos, as instalações de armazenamento de munições e de desmantelamento de armas, outras áreas onde tenham tido atividades militares, sítios de mineração e pedreiras (PINHEIRO, 2017). Os explosivos são classificados como contaminantes carcinogênicos prioritários para Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), envolvendo um grande risco para a saúde pública. Apesar da toxicidade, 3 espécies de 2 famílias foram identificadas na literatura com potencial fitorremediador e/ou atuando na biorretenção do contaminante (Tabela 3).

Portanto, todos os grupos apresentam grandes riscos ao meio ambiente e saúde pública, porém o grupo dos herbicidas apresentado como o mais difundido dentre os estudos científicos, somam com questões econômicas por serem detratores da produtividade agrícola, o que pode servir de discussão sobre a motivação do direcionamento dos estudos científicos envolvendo a fitorremediação de compostos orgânicos. Ao mesmo tempo, demonstramos a diversidade de plantas com potencial de fitorremediação.

A efetividade do processo de fitorremediação dependem primeiramente do desenvolvimento da espécie em ambientes contaminados e como atuam na remoção desses compostos no solo. Por isso, foram mapeados os mecanismos envolvidos na fitorremediação desempenhados pelas plantas nos estudos. A seleção de plantas que apresentam tolerância é o primeiro passo na busca por espécies potencialmente fitorremediadoras (PROCÓPIO, 2004). Os estudos devem se preocupar não só com a capacidade de desenvolvimento da planta, mas também com as peculiaridades locais antes de concluir sobre o potencial de fitorremediação da espécie (MADALÃO, 2012).

Nesse contexto, a maior incidência de estudos que envolvam tolerância das espécies podem ser precursores de outras pesquisas que apontem de fato qual o mecanismo fito fisiológico está envolvido na redução da concentração do contaminante no solo. Porém, a tolerância de certo modo deve ser vista como um meio de mitigar o impacto no ambiente, já que a ocupação do solo por essas espécies pode evitar ou pelo menos diminuir o deslocamento dos contaminantes (FIORE, 2014).

As famílias botânicas em destaque foram fabacea e poaceae, e podemos inferir que os resultados não são reflexo do número de espécies que compõem essa família, já que a astareceae

é o grupo botânico com maior número de espécies na sua composição, e ficou atrás das citados como principais.

A família Fabaceae representa uma das principais em relação ao ponto de vista econômico do Brasil, o que pode ser um ponto importante para a escolha das espécies na fitorremediação (EMBRAPA, 2021). Já as gramíneas, integrantes da família Poaceae, são comumente utilizadas para a fitorremediação devido ao seu crescimento rápido e pela sua extensiva ramificação radicular que proporciona uma ampla superfície, facilitando a interação planta-microbiota (GUARINO et al., 2020).

Os estudos mostraram que algumas espécies atendem muito bem o objetivo de recuperar ou estabilizar o efeito dos contaminantes no solo. As espécies crotalária, feijão-de-porco e mucuna-preta foram efetivas na fitorremediação do solo de pelo menos 5 contaminantes orgânicos diferentes listados nas tabelas 4 e 5 (SANTOS et al., 2004; ALVES, 2016). Desse modo, podemos inferir que o estudo do comportamento dessas plantas em solos contaminados pode trazer pesquisas aprofundadas e relevantes sobre a aplicação efetiva da técnica.

Nesta revisão, aponta-se os principais contaminantes orgânicos que afetam os solos e diversos estudos que mostraram a fitorremediação como uma solução efetiva para a mitigação desse meio, enfatizando quais mecanismos de remediação foi identificado nas interações planta-contaminante, os nomes das espécies e suas famílias.

Com isso, a pesquisa mostra que os estudos no assunto devem avançar experimentalmente na identificação dos mecanismos de fitorremediação, principalmente para as plantas que apresentaram tolerância à presença de contaminante no solo, a fim de entender se a longo prazo essas espécies conseguem ser efetivas na descontaminação do solo. O reconhecimento das espécies e famílias que mais apareceram nos estudos pode direcionar pesquisas com foco em identificar quais características das plantas são relevantes para a fitorremediação de solo contaminados por contaminantes orgânicos.

6. CONCLUSÃO

O estudo mostra que dentre os contaminantes orgânicos que mais aparecerem nos estudos de fitorremediação estão os herbicidas, em específico sulfentrazone, picloram e trifloxysulfuron-sodium. O petróleo também foi encontrado com recorrência como o tratamento de hidrocarbonetos totais do petróleo no solo. Além disso, alguns pesticidas e explosivos também tiveram participação nos resultados das buscas deste trabalho.

Dentro dos cenários de fitorremediação apresentado por esses estudos, a tolerância foi o mecanismo mais citado, o qual é muito importante pois a planta sobreviver em contato com o contaminante é a premissa para ser efetiva na fitorremediação, porém, pode ser que haja essa resistência sem a mitigação do contaminante no solo. Portanto, existe uma oportunidade de novos estudos científicos nessas relações de tolerância entre plantas e contaminantes, buscando entender afundo como os mecanismos fito fisiológicos se comportam frente aos compostos.

Exemplos mais específicos de mecanismos são a fitodegradação e fitoestimulação, os quais foram bastante encontrados nos estudos científicos depois da tolerância. Esse conhecimento aumenta a credibilidade quanto a fitorremediação de determinada relação planta/contaminante.

Nesse sentido, as plantas que mais apresentaram resultados efetivos na fitorremediação de compostos orgânicos são parte do grupo botânico das Fabaceae: crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*). Essas plantas foram encontradas como agente fitorremediador de 5 contaminantes diferentes, o que fortalece a conclusão de que são boas escolhas para a recuperação de solos contaminados por compostos orgânicos. Porém, todos os contaminantes apontados fazem parte do grupo dos herbicidas, portanto, estudos podem ser realizados para entender se essa é uma limitação das plantas ou convenção, e então, responder se conseguem atuar em outros tipos de contaminantes orgânicos como Hidrocarbonetos de petróleo e explosivos.

A revisão mostra que fora o grupo de herbicidas, a fitorremediação dos demais é mais atendida pelas plantas da família botânica Poaceae e Poaceae Bamhart, principalmente, nos hidrocarbonetos do petróleo. As espécies Vertiver (*Vertivera zizanioides (L.) Nash*) e o Milho (*Zea mays L.*) são as protagonistas dessas famílias, no qual apresentaram fitorremediação efetiva em pelo menos 3 compostos diferentes. Isso mostra que são espécies que também entregam bons resultados e assim, a maior recorrência das Fabaceae pode ser justificada pela

maior incidência de estudos e não pela efetividade, ponto que pode ser mais aprofundado por estudos posteriores.

Ainda existem uma grande variedade de espécies que podem ser empregadas em estudos científicos no intuito de checar o seu potencial fitorremediador frente a contaminação de compostos orgânicos, tornando a técnica cada vez mais aplicável em todo o mundo, já que algumas espécies contam com condições naturais locais para seu melhor desenvolvimento.

Por fim, a identificação dos mecanismos de remediação de cada espécie também deve ser foco de estudos subsequentes, visto que grande parte das análises ressaltam a tolerância das plantas em áreas contaminadas, mas não relatam ao certo como a planta agiu sobre o solo. Com essa informação, podemos entender com mais profundidade qual o real potencial fitorremediador dessas espécies e, os casos ideais para aplicação da técnica.

REFERÊNCIA

- AGUIAR, L.M.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A.; CABRAL, C.M.; PEREIRA, I.M.; BARROSO, G.M.; SANTOS, N.M.C.. Physiological Characteristics of Trees Recommended for the Phytoremediation of Soils Contaminated with Herbicides. *Planta Daninha*, [S.L.], v. 36, p. 1-9, 29 out. 2018. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582018360100114>.
- AL-THANI, R.F.; YASSEEN, B.T.. Phytoremediation of polluted soils and waters by native Qatari plants: future perspectives. *Environmental Pollution*, [S.L.], v. 259, p. 113694, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113694>.
- ALARCÓN, Alejandro; DELGADILLO-MARTÍNEZ, Julián; FRANCO-RAMÍREZ, Alicia; DAVIES JUNIOR, Frederick T.; FERRERA-CERRATO, Ronald. Influence of two polycyclic aromatic hydrocarbons on spore germination, and phytoremediation potential of *Gigaspora margarita*-*Echinochloa polystachya* SYMBIOSIS IN BENZO[a]PYRENE-POLLUTED SUBSTRATE. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, México*, v. 22, n. 1, p. 39-47, 01 mar. 2006.
- ALVES, Carla. Seleção de espécies com potencial para fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores da Protox. 2016. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim (Rs), 2016.
- ASSIS, Renato L. de; PROCÓPIO, Sérgio de O.; CARMO, Marcos L. do; PIRES, Fábio R.; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; BRAZ, Guilherme B. P.. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande (Pb)*, v. 14, n. 11, p. 1131-1135, nov. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010001100001>.
- BALLIANA, Amanda Gailit. AVALIAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE *Canavalia ensiformis* (L.) DC. (FABACEAE) EM SUBSTRATO CONTAMINADO COM ÓLEO DIESEL. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (Pr), 2015.
- BARBOSA, Vanessa. 4 casos trágicos de contaminação de solo: cidade dos meninos, rio de janeiro. *Cidade dos Meninos, Rio de Janeiro*. 2011. Disponível em: <https://exame.com/mundo/4-casos-chocantes-de-contaminacao-de-solo-no-pais/>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- BASSO, Marcos Vinícios. Efeito do tempo de dessecação pré-semeadura com 2,4-D na germinação, estande de plântulas e desenvolvimento da soja. 2019. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2019.
- BELO, A.F; COELHO, A.T.C.P; FERREIRA, L.R; SILVA, A.A; SANTOS, J.B. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. *Planta Daninha*,

Viçosa (Mg), v. 29, n. 4, p. 821-828, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582011000400012>.

BELO, A.F.; SANTOS, E.A.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; CECON, P.R.; SILVA, L.L.. Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron- sodium. *Planta Daninha*, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 251-258, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582007000200003>.

BELO, Alessandra Ferreira; PIRES, Fábio Ribeiro; BONOMO, Robson; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; TENIS, Luis Henrique Ortelan. Sulfentrazone phytoremediation under field conditions. *Revista Caatinga*, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 119-126, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n114rc>.

BELO, Alessandra Ferreira. Aspectos Fisiológicos de plantas com potencial remediador de solo contaminado com Sulfentrazone e Picloram. 2010. 68 f. Tese (Doutorado) - Curso de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Mg), 2010.

BELO, Alessandra Ferreira. Técnicas para fitorremediação de solo contaminado com herbicidas. 2006. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Mg), 2006.

BIAZÃO, Thalita Colombo. Utilização de *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc. (POACEAE) na fitorremediação de solo contaminado com petróleo. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. Editora IBICT, jan. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/portal-brasileiro-de-publicacoes-cientificas-em-acesso-aberto>. Acesso em: 08 fev. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Serviços ambientais. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/conservacao-1/servicos-ecossistemicos>. Acesso em: 08 mar. 2022.

BUOSI, Daniela; FELFILI, Jeanine Maria. Recuperação de áreas contaminadas por pesticidas organoclorados na Cidade dos Meninos, município de Duque de Caxias, RJ. *Revista Árvore*, Viçosa (Mg), v. 28, n. 3, p. 465-470, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622004000300018>.

CABRAL, C.M.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A.; COSTA, S.s.D.; DALVI, V.C.; FRANCINO, D.M.T.. Structural evaluation of damage caused by herbicide clomazone in leaves of arborescent species native to Brazil. *Planta Daninha*, [S.L.], v. 35, p. 1-10, 7 ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582017350100043>.

CAMPOS, Jean Oliveira; LIMA, Carla Andreza Oliveira de; CARNEIRO, Antônio Marques; REINALDO, Lediam Rodrigues Lopes Ramos. Experimentos com características morfológicas como recurso didático para o ensino do solo. *Geotemas*, Pau dos Ferros (Rn), v. 10, n. 1, p. 136-154, jan. 2020.

CAPDEVILA, Pol; STOTT, Iain; MENOR, Imma Oliveras; STOUFFER, Daniel B.; RAIMUNDO, Rafael L. G.; WHITE, Hannah; BARBOUR, Matthew; SALGUERO-GÓMEZ, Roberto. Reconciling resilience across ecological systems, species and subdisciplines. *Journal Of Ecology*, [S.L.], v. 109, n. 9, p. 3102-3113, set. 2021. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1111/1365-2745.13775>. Disponível em:
<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1365-2745.13775>. Acesso em: 08 mar. 2022.

CARMO, M.L.; PROCOPIO, S.O.; PIRES, F.R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BARROSO, A.L.L.; SILVA, G.P.; CARMO, E.L.; BRAZ, G.B.P.; SILVA, W.F.P.; BRAZ, A.J.B.P.. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. *Planta Daninha*, Viçosa (Mg), v. 26, n. 2, p. 301-313, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582008000200006>.

CARVALHO, Ana Paula Guimarães da Costa et al. Detecção de pesticidas organoclorados na água e a associação da exposição humana à esses poluentes com o risco de diabetes mellitus tipo 2. *Revista Destaques Acadêmicos*, Lajeado, v. 11, n. 3, p. 71-83, 19 nov. 2019. Editora Univates. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v11i3a2019.2171>.

CONCIANI, Paulo Alberto. Potencial de fitorremediação de diferentes plantas em solo contaminado por 14C-tebuthiuron. 2015. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

DUQUE, Tayna Sousa; MACIEL, Josiane Costa; SANTOS, José Barbosa dos; FERREIRA, Evander Alves; SOUZA, Josiely Borges de. Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 4-32, 15 set. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8123>.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Agropecuária (org.). Espécies Arbóreas Brasileiras: fabaceae. Fabaceae. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/especies-arboreas-brasileiras/fabaceae#:~:text=Fabaceae%20ou%20Leguminosae%20%28dependendo%20do%20sistema%20de%20classifica%C3%A7%C3%A3o,uma%20das%20principais%2C%20do%20ponto%20de%20vista%20econ%C3%B4mico..> Acesso em: 05 fev. 2023.

FENG, Nai-Xian; YU, Jiao; ZHAO, Hai-Ming; CHENG, Yu-Ting; MO, Ce-Hui; CAI, Quan-Ying; LI, Yan-Wen; LI, Hui; WONG, Ming-Hung. Efficient phytoremediation of organic contaminants in soils using plant–endophyte partnerships. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 583, p. 352-368, abr. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.075>.

FERRAÇO, M.; BELO, A.F.; PIRES, F.R.; BONOMO, R.; A.C. FILHO,. Phytoremediation of Contaminated Soil with Sulfentrazone by Different Density of *Crotalaria juncea*. *Planta Daninha*, [S.L.], v. 37, p. 1-10, 2019. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582019370100008>.

FERRAÇO, Mariana; PIRES, Fábio Ribeiro; BELO, Alessandra Ferreira; CELIN FILHO, Ademar; BONOMO, Robson. Effect of population density of *Canavalia ensiformis* on the phytoremediation of soil contaminated with sulfentrazone. *Revista Ciência Agronômica*,

Fortaleza (Ce), v. 48, n. 1, p. 32-40, mar. 2017. GN1 Genesis Network.
<http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170004>.

FIGLIORE, Rebecca de Araújo. Potencial de espécies florestais para remediação de substrato contaminado com Atrazine e 2,4-D. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2014.

FRANCO, Miguel Henrique Rosa; FRANÇA, André Cabral; ALBUQUERQUE, Marco Túlio; SCHIAVON, Nykolos Carvalho; VARGAS, Guto Nascimento. Fitorremediação de solos contaminados com picloram por *Urochloa brizantha*. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia (Go), v. 44, n. 4, p. 460-467, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s1983-40632014000400003>.

FRANCO, Miguel Henrique Rosa; LEMOS, Vinícius Teixeira; FRANÇA, André Cabral; SCHIAVON, Nykolos Carvalho; ALBUQUERQUE, Marco Túlio Gomes; ALECRIM, Ademilson de Oliveira; D'ANTONINO, Leonardo. Physiological and morphological characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. grown in soil with picloram residues. Pesquisa Agropecuária Tropical, [S.L.], v. 46, n. 3, p. 276-283, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4640169>.

GALON, L.; LIMA, A.M.; GUIMARÃES, S.; BELARMINO, J.G.; BURG, G.M.; CONCENÇO, G.; BASTIANI, M.O.; BEUTLER, A.N.; ZANDONA, R.R.; RADÜNZ, A.L.. Potential of plant species for bioremediation of soils applied with imidazolinone herbicides. Planta Daninha, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 719-726, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582014000400006>.

GERHARDT, Karen E.; GERWING, Perry D.; GREENBERG, Bruce M.. Opinion: taking phytoremediation from proven technology to accepted practice. Plant Science, [S.L.], v. 256, p. 170-185, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.016>.

GONÇALVES, Felipe Augusto Reis; MELO, Christiane Augusta Diniz; QUEIROZ, Paulo César de; ENDO, Ricardo Tsuyoshi; SILVA, Daniel Valadão da; REIS, Marcelo Rodrigues dos. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. Revista de Ciências Agrárias, [S.L.], v. 61, n. 1, p. 1-6, abr. 2018. Tikinet Edicao Ltda. - EPP.
<http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2570>.

GUARINO, Carmine; MARZIANO, Mario; TARTAGLIA, Maria; PRIGIONIERO, Antonello; POSTIGLIONE, Alessia; SCARANO, Pierpaolo; SCIARRILLO, Rosaria. Poaceae with PGPR Bacteria and Arbuscular Mycorrhizae Partnerships as a Model System for Plant Microbiome Manipulation for Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbons Contaminated Agricultural Soils. Agronomy, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 547, 10 abr. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10040547>.

GUIMARÃES, Camila Camolesi. Estudo da Utilização de Composto Orgânico para a remediação de solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo. 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo (Sp), 2018.

LOPES, Aline; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez. Estabelecimento de *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock (Poaceae) em solo de várzea contaminado com petróleo de Urucu. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 39, n. 3, p. 583-590, 01 jul. 2009.

LUO, Jie; CAI, Limei; QI, Shihua; WU, Jian; GU, X.W. Sophie. Improvement effects of cytokinin on EDTA assisted phytoremediation and the associated environmental risks. *Chemosphere*, [S.L.], v. 185, p. 386-393, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.036>.

MADALÃO, João Carlos; PIRES, Fábio Ribeiro; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; CHAGAS, Kristhiano; NASCIMENTO, Alex Favaro; GARCIA, Giovanni de Oliveira. Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences*, [S.L.], v. 55, n. 4, p. 288-296, set. 2012. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.068>.

MADALÃO, João Carlos; PIRES, Fábio Ribeiro; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; NASCIMENTO, Alex Favaro; CHAGAS, Kristhiano; ARAÚJO, Rodrigo Silva; PROCÓPIO, Sergio de Oliveira; BONOMO, Robson. Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. *Revista Ceres*, Viçosa (Mg), v. 60, n. 1, p. 111-121, fev. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-737x2013000100016>.

MADALAO, Joao Carlos; PIRES, Fabio Ribeiro; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; NASCIMENTO, Alex Favaro; CHAGAS, Kristhiano; PROCOPIO, Sergio Oliveira; ARAUJO, Rodrigo Silva; BONOMO, Robson; TAUFNER, Gisela Azevedo. Selection of species tolerant to the herbicide sulfentrazone with potential for phytoremediation of contaminated soils. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2199-2214, 5 dez. 2012. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2199>.

MADALÃO, João Carlos; PIRES, Fábio Ribeiro; CHAGAS, Kristhiano; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; PROCÓPIO, Sergio Oliveira. Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia (Go), v. 42, n. 4, p. 390-396, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-40632012000400001>.

MADALÃO, João Carlos. Fitorremediação do sulfentrazone em argissolo vermelho-amarelo e sua sorção e dessorção em diferentes tipos de solos. 2014. 46 f. Tese (Doutorado) - Curso de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Mg), 2014.

MADALÃO, João Carlos. Seleção de espécies para a fitorremediação de solos contaminados com o herbicida Sulfentrazone. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, Alegre (Es), 2011.

MANISALIDIS, Ioannis; STAVROPOULOU, Elisavet; STAVROPOULOS, Agathangelos; BEZIRTZOGLU, Eugenia. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: a review. *Frontiers In Public Health*, [S.L.], v. 8, n. 14, p. 1-13, 20 fev. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.00014/full>. Acesso em: 03 mar. 2022.

MARQUES, Marcia; AGUIAR, Christiane Rosas Chafim; SILVA, Jonatas José Luiz Soares da. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 1-11, fev. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832011000100001>.

MCPHERSON, A. Monitoring phytoremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soils in a closed and controlled environment. 2007. 206 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – University of Saskatchewan, Saskatoon/Canadá, 2007.

MEDEIROS, Thales Augusto de Miranda. Efeito Fitotóxico e potencial remediador de três espécies vegetais contaminadas com benzeno. 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba (Sp), 2015.

MONQUERO, Patrícia Andrea; SILVA, Paulo Vinícius da. Comportamento de Herbicidas no Ambiente. In: BARROSO, Arthur Arrobas Martins; MURATA, Afonso Takao. *Matologia: estudos sobre as plantas daninhas*. Jaboticabal: Fabrica da Palavra, 2021. Cap. 8. p. 253-294.

MOREIRA, José Tiago Teixeira de Sousa. *Solanum nigrum L., a fine tool for Phytoremediation of Acetophenone*. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia Molecular, Biotecnologia e Bioempreendedorismo em Plantas, Universidade do Minho, [S.I], 2013.

NEGRÃO, Leticia Maria Viana Negrão. *A Fitorremediação e seus mecanismos em plantas submetidas à metais pesados: uma revisão de literatura*. 2022. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

NOGUEIRA, Lucas; INCKOT, Renata Charvet; SANTOS, Gedir de Oliveira; SOUZA, Luiz Antonio de; BONA, Cleusa. Phytotoxicity of petroleum-contaminated soil and bioremediated soil on *Allophylus edulis*. *Rodriguésia*, [S.L.], v. 62, n. 3, p. 459-466, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201162302>.

NORDLUND, Lina Mtwana; JACKSON, Emma L.; NAKAOKA, Masahiro; SAMPER-VILLARREAL, Jimena; BECA-CARRETERO, Pedro; CREED, Joel C.. Seagrass ecosystem services – What's next? *Marine Pollution Bulletin*, [S.L.], v. 134, p. 145-151, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez34.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0025326X1730749X>. Acesso em: 08 mar. 2022.

Organização das Nações Unidas (ONU) (org.). *De asma a zika, ONU combate ligações entre ambiente e saúde*. 2016. Disponível em: <https://news.un.org/pt/audio/2016/02/1163871>. Acesso em: 03 mar. 2022.

PAVANELLI, Alex Gibellato. *Fitorremediação de solo contaminado com petróleo utilizando Typha latifolia*. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química dos Recursos Naturais, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

PINHEIRO, Maitê Bueno. *Plantas para Infraestrutura Verde e o Papel da Vegetação no Tratamento das Águas Urbanas de São Paulo: identificação de critérios para seleção de*

espécies. 2017. 367 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; FERREIRA, L.R.. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 335-341, ago. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582003000200020>.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A.A.; QUEIROZ, M.e.L.R.; PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; SANTOS, E.A.; CECON, P.R.. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de tebuthiuron. *Planta Daninha*, Viçosa (Mg), v. 21, n. 3, p. 451-458, dez. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582003000300014>.

PIRES, Fábio Ribeiro; SOUZA, Caetano Marciano de; CECON, Paulo Roberto; SANTOS, José Barbosa dos; TÓTOLA, Marcos Rogério; PROCÓPIO, Sergio de Oliveira; SILVA, Antonio Alberto da; SILVA, Carlos Shigeaky Weky. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 627-634, jul. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832005000400015>.

PIRES, Fábio Ribeiro; SOUZA, Caetano Marciano de; SILVA, Antônio Alberto da; PROCÓPIO, Sérgio de Oliveira; CECON, Paulo Roberto; SANTOS, José Barbosa dos; SANTOS, Edson Aparecido dos. Seleção de Plantas Tolerantes ao Tebuthiuron com potencial para fitorremediação. *Revista Ceres*, [S.I.], v. 291, n. 50, p. 583-594, 01 jan. 2003.

PIRES, Fábio Ribeiro. Seleção de espécies para fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron. 2003. 65 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Mg), 2003.

PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; PIRES, F.R.; SILVA, A.A.; SANTOS, E.A.; CARGNELUTTI FILHO, A.. Development of bean plants in soil contaminated with trifloxysulfuron-sodium after *Stizolobium aterrimum* and *Canavalia ensiformis* cultivation. *Planta Daninha*, Viçosa (Mg), v. 25, n. 1, p. 87-96, mar. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582007000100010>.

PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; PIRES, F.R.; SILVA, A.A.; SANTOS, E.A.; FERREIRA, L.R.. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium por mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*). *Planta Daninha*, Viçosa (Mg), v. 23, n. 4, p. 719-724, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582005000400021>.

PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; PIRES, F.R.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I.; SANTOS, E.A.; FERREIRA, L.R.. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. *Planta Daninha*, Viçosa (Mg), v. 22, n. 2, p. 315-322, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582004000200020>.

PROCÓPIO, Sergio de Oliveira; CARMO, Marcos Lima do; PIRES, Fábio Ribeiro; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; BRAZ, Guilherme Braga Pereira; SILVA, Welington Fernando Peres; BARROSO, Alberto Leão de Lemos; SILVA, Gilson Pereira; CARMO, Eduardo Lima do; BRAZ, Antonio Joaquim Braga Pereira. Efeito da densidade populacional

de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 30, n. 2, p. 295, 20 jul. 2009. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n2p295>.

PROCÓPIO, Sergio de Oliveira; CARMO, Marcos Lima do; PIRES, Fábio Ribeiro; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; BRAZ, Guilherme Braga Pereira; SILVA, Welington Fernando Peres; BARROSO, Alberto Leão de Lemos; SILVA, Gilson Pereira; CARMO, Eduardo Lima do; BRAZ, Antonio Joaquim Braga Pereira. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 2517-2524, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000600028>.

RADA, Elena Cristina; ANDREOTTOLA, Gianni; ISTRATE, Irina Aura; VIOTTI, Paolo; CONTI, Fabio; MAGARIL, Elena Romanovna. Remediation of Soil Polluted by Organic Compounds Through Chemical Oxidation and Phytoremediation Combined with DCT. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, [S.L.], v. 16, n. 17, p. 3179-3190, 31 ago. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph16173179>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/17/3179/htm>. Acesso em: 08 mar. 2022.

RENER, Clarissa Nascimento Soares; FAÉ, Jair; FERRAZ, Ibira Ferro; OLIVEIRA JUNIOR, Rafael Cavalcanti de; SANTA'NNA, Selenobaldo Alexinaldo Cabral de; MIRANDA, Paulo Rogério Barbosa de; PAVÃO, Jessé Marques Silva Júnior. Caracterização do elemento químico arsênio e a biorremediação de solos contaminados. *Diversitas Journal*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 652-667, abr. 2022. Universidade Estadual de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.48017/dj.v7i2.2017>.

RISSATO, Sandra Regina; GALHIANE, Mário Sergio; FERNANDES, João Roberto; GERENUTTI, Marli; GOMES, Homero Marques; RIBEIRO, Renata; ALMEIDA, Marcos Vinícius de. Evaluation of *Ricinus communis* L. for the Phytoremediation of Polluted Soil with Organochlorine Pesticides. *Biomed Research International*, [S.L.], v. 2015, p. 1-8, 2015. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/549863>.

RODRIGUES, Alan Carlos Rezende. AVALIAÇÃO DO USO DA *Erythrina velutina* Willd COMO AGENTE FITORREMEIADOR DE SOLO AGRÍCOLA CONTAMINADO COM HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS. 2019. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão (Se), 2019.

SANTOS, E. A. dos; COSTA, M. D.; FERREIRA, L. R.; REIS, M. R. dos; FRANÇA, A. C.; SANTOS, J. B. dos. Atividade rizosférica de solo tratado com herbicida durante processo de remediação por *Stizolobium aterrimum*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 1–7, 2010. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/4670>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SANTOS, E.A.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, L.R.; COSTA, M.D.; SILVA, A.A.. Fitoestimulação por *Stizolobium aterrimum* como processo de remediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium. *Planta Daninha*, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 259-265, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582007000200004>.

SANTOS, J. B. d., PROCÓPIO, S. d. O., SILVA, A. A. d., PIRES, F. R., Ribeiro Júnior, J. I., & Santos, E. A. d. Seletividade do herbicida Trifloxysulfuron sodium para fins de fitorremediação. Revista Ceres. 2004

SANTOS, J.B.; PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; PIRES, F.R.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I.; SANTOS, E.A.; FERREIRA, L.R.. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. Planta Daninha, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 323-330, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582004000200021>.

SANTOS, José Barbosa dos; PROCÓPIO, Sergio de Oliveira; PIRES, Fábio Ribeiro; SILVA, Antônio Alberto da; SANTOS, Edson Aparecido dos. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis (L). DC.*). Ciência e Agrotecnologia, Lavras (Mg), v. 30, n. 3, p. 444-449, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542006000300009>.

SANTOS, Vanessa Silva; JAKELAITIS, Adriano; PEREIRA, Leandro Spíndola; SOUSA, Gustavo Dorneles de; OLIVEIRA, Gustavo Silva de; SILVA, Jeovane Nascimento; VASCONCELOS, Simonny Montthiel Araújo; MARTINS, Paula Fabiane. Seleção de espécies vegetais tolerantes ao herbicida hexazinone. Nativa, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 389, 1 jul. 2019. Nativa. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i4.7266>.

SHAHZADI, Amina. Bioremediation of organic pollutants. Agriculture e Environment, [s. l], v. 2, n. 1, p. 32-38, jan. 2021.

SILVA FILHO, Uelson Sabino da. Potencial de espécies florestais para remediação de áreas contaminadas com herbicidas residuais. 2018. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo (Mg), 2018.

SILVA, Jéssica Verâne Lima da. Eficiência do mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) na fitorremediação de sedimentos de manguezal contaminados por petróleo. 2013. 99 f. Monografia (Especialização) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador (Ba), 2013.

SILVA, L.O.C.; SILVA, A.A; QUEIROZ, M.e.L.R.; LIMA, C.F.; ROCHA, P.R.R.; D'ANTONINO, L.. Ação de Eleusine coracana na remediação de solos contaminados com picloram. Planta Daninha, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 627-632, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582012000300019>.

SILVA, Leandra de Oliveira Cruz da. Sorção, dessorção e lixiviação do Ametryn e Fitorremediação do Picloram em solos brasileiros. 2011. 62 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Mg), 2011.

SILVA, Nathalia Banharoto Dutra da; BORGES, Isabella; VASCONCELOS, Vitor Vieira. Análise do impacto potencial de áreas com contaminação de solos sobre cursos d'água e poços no município de São Paulo. Águas Subterrâneas, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 250-263, 8 set. 2020. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29753>.

SOUTO, Kelen Müller; AVILA, Luis Antonio de; CASSOL, Guilherme Vestena; MACHADO, Sérgio Luiz de Oliveira; MARCHESAN, Enio. Phytoremediation of lowland

soil contaminated with a formulated mixture of Imazethapyr and Imazapic1. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 185-192, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902015000100022>.

SOUTO, Kelen Müller; JACQUES, Rodrigo Josemar Seminoti; AVILA, Luis Antonio de; MACHADO, Sérgio Luiz de Oliveira; ZANELLA, Renato; REFATTI, João Paulo. Biodegradação dos herbicidas imazetapir e imazapique em solo rizosférico de seis espécies vegetais. *Ciência Rural*, Santa Maria (Rs), v. 43, n. 10, p. 1790-1796, out. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782013001000010>.

SOUTO, Kelen Muller. Universidade Federal de Santa Maria. 2014. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (Rs), 2014.

SOUZA, Camila da Costa Barros de. Fitorremediação de Solos com Resíduo do Herbicida Diclosulam. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica (Rj), 2017.

SOUZA, Wendel Magno de; GUIMARÃES, Fernanda Aparecida Rodrigues; SOUZA, Matheus de Freitas; SILVA, Daniel Valadão; MELO, Christiane Augusta Diniz. Rhizospheric activity of phytoremediation species in soil contaminated with picloram1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Mossoró (Rn), v. 47, n. 2, p. 127-133, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4743289>.

TONEL, Fernanda Reolon. Fitorremediação a compostos derivados de petróleo. 2014. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

VALENCIA, Ismael Hernández; NAVAS, Gabriela; INFANTE, Carmen. Fitorremediación de un suelo contaminado con petróleo extrapesado con *Megathyrus maximus*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 495-503, 1 ago. 2017. Centro de Ciencias de la Atmosfera. <http://dx.doi.org/10.20937/rica.2017.33.03.12>.

VASCONCELLOS, Maria Cristina; PAGLIUSO, Débora; SOTOMAIOR, Vanessa Santos. Fitorremediação: uma proposta de descontaminação do solo. *Estudos de Biologia*, [S.L.], v. 34, n. 83, p. 261-267, 27 nov. 2012. Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR. <http://dx.doi.org/10.7213/estud.biol.7338>.

VIANA, Francine Vicentini. Acumulação de HPAs pela *Spartina alterniflora* cultivada em solo landfarming de indústria petroquímica. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2008.

VIANA, Francine; CORREIA, Thayná M. B.; MACHADO, Maria Isabel; COSTA, César B.; BAISCH, Paulo. A utilização da fitorremediação em áreas contaminadas por petróleo e seus resíduos. In: PDPETRO, 4., 2007, Campinas. Artigos e Resumos. Campinas: Abpg, 2007. p. 1-7.

WENZEL, W. W. Rhizosphere processes and Management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Journal of Plant Soil*, Austria, sem paginação, 2008.

WOLFF, Chaiana Macena. Avaliação das alterações morfológicas, anatômicas e fitoquímicas em folhas de *Mentha x Villosa* (LAMIACEAE) cultivada em solo contaminado com petróleo e potencial de uso na fitorremediação. 2011. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Rj), 2011.

WONG-ARGÜELLES, Cynthia; CARRANZA-ÁLVAREZ, Candy; ALONSO-CASTRO, Angel J.; ILIZALITURRI-HERNÁNDEZ, César A.. FITORREMEDIACIÓN in situ EN MÉXICO: una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, [S.L.], v. 44, n. 2, p. 133, 28 jun. 2021. Sociedad Mexicana de Fitogenetica A.C. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2021.2.133>. Disponível em: <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/859>. Acesso em: 08 mar. 2022.