

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Benefícios ambientais e sociais provenientes da fitorremediação de solos
contaminados por agrotóxicos**

Maria Eduarda Sonego

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte
dos requisitos para obtenção do título de Bacharela em
Gestão Ambiental

**Piracicaba
Ano 2025**

MARIA EDUARDA SONEGO

**Benefícios ambientais e sociais provenientes da fitorremediação de solos contaminados
por agrotóxicos**

Orientador:
Prof. Dr. **KASSIO FERREIRA MENDES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte
dos requisitos para obtenção do título de Bacharela em
Gestão Ambiental

**Piracicaba
Ano 2025**

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO..... | 4 |
| ABSTRACT..... | 5 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 6 |
| LISTA DE TABELAS..... | 7 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL..... | 9 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 9 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 10 |
| 2.1 REGISTRO E CLASSIFICAÇÃO DE AGROTÓXICOS..... | 10 |
| 2.2 AGROTÓXICOS MAIS COMERCIALIZADOS ENTRE 2020 E 2023..... | 12 |
| 2.2.1 GLIFOSATO..... | 13 |
| 2.2.2 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO..... | 15 |
| 2.2.3 MANCOZEBE..... | 16 |
| 2.3 COMPORTAMENTO DOS AGROTÓXICOS E CONTAMINAÇÃO DE SOLOS..... | 17 |
| 2.4 FITORREMEDIAÇÃO PARA SOLOS CONTAMINADOS POR GLIFOSATO E 2,4-D..... | 18 |
| 2.4.1 ADUBAÇÃO VERDE..... | 20 |
| 2.5 GESTÃO AMBIENTAL..... | 21 |
| 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 25 |
| REFERÊNCIAS..... | 26 |

RESUMO

Benefícios ambientais e sociais provenientes da fitorremediação de solos contaminados por agrotóxicos

A fitorremediação é uma alternativa sustentável para a recuperação de áreas contaminadas. Os agrotóxicos tendem-se a comportarem de forma distinta nos solos, dadas as suas propriedades físico-químicas. As características dos agrotóxicos são passíveis de serem usadas nas avaliações ambientais realizadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), permitindo a análise de impacto ambiental no solo por meio da relação do tempo de meia-vida da degradação e coeficiente de sorção dos agrotóxicos, o que justifica a permanência e mobilidade desses produtos no solo. O objetivo com esse estudo foi identificar por meio de uma revisão de literatura, a eficiência da fitorremediação de solos contaminados por agrotóxicos e seus benefícios no âmbito social e ambiental. Solos contaminados geram prejuízos ambientais que se alastram tanto no meio terrestre quanto no aquático, prejudicando a biodiversidade, os recursos hídricos e as populações locais.

Palavras-chave: Adubos verdes; contaminação de solos; impactos ambientais

ABSTRACT

Environmental and social benefits resulting from the phytoremediation of soils contaminated by pesticides

Phytoremediation is a sustainable alternative for the recovery of contaminated areas. Pesticides tend to behave differently in soils, given their physical and chemical properties. The characteristics of pesticides can be used in environmental assessments carried out by the Brazilian Institute of the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA), allowing for the analysis of environmental impact on the soil through the relationship between the half-life of degradation and the sorption coefficient of pesticides, which explains the permanence and mobility of these products in the soil. The objective of this study was to identify, through a literature review, the efficiency of phytoremediation of soils contaminated by pesticides and its social and environmental benefits. Contaminated soils cause environmental damage that spreads to both terrestrial and aquatic environments, harming biodiversity, water resources, and local populations.

Keywords: Green manure; soil contamination; environmental impacts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das categorias dos agrotóxicos segundo sua toxicidade com pictogramas, formas de exposição e faixa de cor

Figura 2 - Exemplo de rótulo e bula no modelo GHS

Figura 3 - Gráfico da quantidade comercializada dos agrotóxicos no Brasil (2020–2023)

Figura 4 - Ranking de produção agrícola no Brasil em 2024

Figura 5 - Comportamento dos agrotóxicos no ambiente

Figura 6 - Fluxograma para análise da implementação da fitorremediação em solos contaminados

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do glifosato

Tabela 2 - Propriedades físico-químicas do 2,4-D

Tabela 3 - Propriedades físico-químicas do mancozebe

Tabela 4 - Esquematização das diversas formas de fitorremediação

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, a agricultura foi inserida na sociedade como forma de suprir as necessidades da vida humana (RIBEIRO; PEREIRA, 2016). Porém, com o passar dos anos, essa atividade não se limitou apenas a questão de sobrevivência, mas passou a compor um cenário econômico mundial, movimentando as estratégias de mercado por meio da exportação e importação de produtos agrícolas (PERES, et al., 2003).

A produção de alimentos requer uso de agrotóxicos, almejando alta produtividade das colheitas e praticidade em atender a demanda do mercado e da sociedade. Assim, o uso de agrotóxicos reduz o tempo de cultivo e controla de pragas e doenças, maximizando a produção de alimentos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2024).

Nesse cenário, as propriedades físico-químicas do solo interagem com as características comportamentais dos agrotóxicos, como o tempo de persistência e toxicidade, ocasionando contaminação do solo e recursos hídricos, conforme destacado no Documento 160 da EMBRAPA (EMBRAPA, 2018). Os impactos ambientais e sociais são consequências do modo de uso desses produtos, aumentando a presença de resíduos em alimentos e no ambiente – contaminação de efluentes e aumento de processos erosivos – (RIBEIRO; PEREIRA, 2016).

Como forma de tratar solos contaminados por agrotóxicos, a fitorremediação pode ser utilizada como descontaminante, por meio da ação de plantas com potencial de degradar, acumular ou absorver resíduos de agrotóxicos (PILON-SMITS, 2005). O tratamento pode ocorrer por meio da fitoextração, fitodegradação, fitoestabilização, fitovolatilização, rizodegradação, rizoestabilização e cobertura vegetal (ALVES et al., 2016). Nesse contexto, a viabilidade ambiental e social da fitorremediação gera resultados positivos para o ambiente e para a sociedade (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011).

Ao considerar a esfera socioambiental, a produção agrícola, mesmo quando realizada por pequenos produtores, apresenta práticas que impactam o meio ambiente, sobretudo pela forma de utilização dos agrotóxicos na agricultura (PIGNATI et al., 2017). Informações limitadas sobre esses produtos e suas interações, aliadas à ausência de conscientização ambiental, geram impactos na sociedade e na relação do indivíduo com o ambiente, evidenciando a necessidade da educação ambiental.

O presente trabalho visa abranger os benefícios que a fitorremediação pode proporcionar ao ambiente, considerando aspectos socioambientais na descontaminação de resíduos de agrotóxicos no solo.

1.1 Objetivo geral

Identificar por meio de uma revisão de literatura, a eficiência da fitorremediação de solos contaminados por agrotóxicos e seus benefícios no âmbito social e ambiental.

1.2 Objetivos específicos

- 1.2.1 Identificar os agrotóxicos mais comercializados segundo os quatro últimos relatórios publicados pelo IBAMA, analisando seus impactos ambientais e sociais.
- 1.2.2 Abordar o comportamento dos agrotóxicos mais comercializados e as avaliações ambientais pelo IBAMA, considerando suas propriedades físico-químicas e as interações com o solo. Destacar como essas características contribuem para a contaminação do solo e impactos na comunidade local.
- 1.2.3 Analisar os pontos positivos e negativos da aplicação da fitorremediação e seus efeitos na descontaminação do solo contaminado por agrotóxico.
- 1.2.4 Identificar os benefícios e eficiência do manejo sustentável de solo contaminado utilizando o método de fitorremediação, relacionando-os à gestão ambiental e à importância do monitoramento, prevenção e recuperação de área contaminada por agrotóxicos.
- 1.2.5 Demonstrar como a educação ambiental pode promover o aprimoramento do uso de práticas mais sustentáveis e como a comunidade local pode beneficiar-se da mitigação de áreas contaminadas por agrotóxicos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Registro e classificação de agrotóxicos

Em meio à produção alimentar mundial, necessitou-se aprimorar a agricultura para proteger sementes e plantas de espécies indesejáveis, que causassem dano à plantação (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2024). Dessa forma, os agrotóxicos foram inseridos na agricultura como catalisadores de produção, atuando contra plantas daninhas (herbicidas), fungos (fungicidas) e insetos (inseticidas) (RIBEIRO; PEREIRA, 2016).

Apesar da proposta de uso dos agrotóxicos ser válida, trata-se de lidar com uma estrutura molecular complexa, por ser sintética (PILON-SMITS, 2005). Diante dessa complexidade, em 2023 foi instituída a Lei nº 14.785/2023 com o objetivo de promover avaliações mais criteriosas sobre os riscos ambientais e à saúde humana ocasionados pelo uso de agrotóxicos (BRASIL, 2023).

As avaliações competem aos órgãos públicos – Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) – cuja responsabilidade é classificar os perigos decorrentes da exposição a esses produtos (AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2025). Cada órgão público é responsável por uma análise, sendo o MAPA incumbido pela eficiência agrônômica, a ANVISA pela toxicologia e o IBAMA pelo impacto ambiental. Ao considerar avaliações necessárias para a comercialização dos agrotóxicos, entende-se que são produtos complexos que, ao serem usados de forma inadequada, geram consequências socioambientais (RIBEIRO; PEREIRA, 2016).

Por meio da nova lei, foi implementada uma comunicação mais clara e objetiva sobre perigos associados aos agrotóxicos (BRASIL, 2023). Com essa alteração, houve reanálise de toxicidade dos agrotóxicos já registrados (ANVISA, 2019). Em 2023 houve a atualização do modelo *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals* (GHS) (figura 1), unificando de forma internacional a linguagem de classificação dos agrotóxicos (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, 2025) .

Figura 1 – Classificação das categorias dos agrotóxicos segundo sua toxicidade com pictogramas, formas de exposição e faixa de cor

| | CATEGORIA 1 | CATEGORIA 2 | CATEGORIA 3 | CATEGORIA 4 | CATEGORIA 5 | NÃO CLASSIFICADO |
|------------------------|---|---|---|--|---|------------------|
| | EXTREMAMENTE TÓXICO | ALTAMENTE TÓXICO | MODERADAMENTE TÓXICO | POUCO TÓXICO | IMPROVÁVEL CAUSAR DANO AGUDO | NÃO CLASSIFICADO |
| PICTOGRAMA |  |  |  |  | Sem símbolo | Sem símbolo |
| PALAVRA DE ADVERTÊNCIA | PERIGO | PERIGO | PERIGO | CUIDADO | CUIDADO | Sem advertência |
| CLASSE DE PERIGO | | | | | | |
| ORAL | Fatal se ingerido | Fatal se ingerido | Tóxico se ingerido | Nocivo se ingerido | Pode ser perigoso se ingerido | - |
| DÉRMICA | Fatal em contato com a pele | Fatal em contato com a pele | Tóxico em contato com a pele | Nocivo em contato com a pele | Pode ser perigoso em contato com a pele | - |
| INALATÓRIA | Fatal se inalado | Fatal se inalado | Tóxico se inalado | Nocivo se inalado | Pode ser perigoso se inalado | - |
| COR DA FAIXA | VERMELHO | VERMELHO | AMARELO | AZUL | AZUL | VERDE |

Fonte: Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (2019)

A linguagem tornou-se mais clara e objetiva, por meio do uso de pictogramas e de palavras de advertência, que facilitaram a comunicação visual dos perigos sobre os agrotóxicos. A cor da faixa se estende às cinco classes, indicando como vermelho os agrotóxicos mais tóxicos, amarelo, os moderadamente tóxicos e azul, os pouco tóxicos ou improváveis de causar dano agudo (ANVISA, 2019).

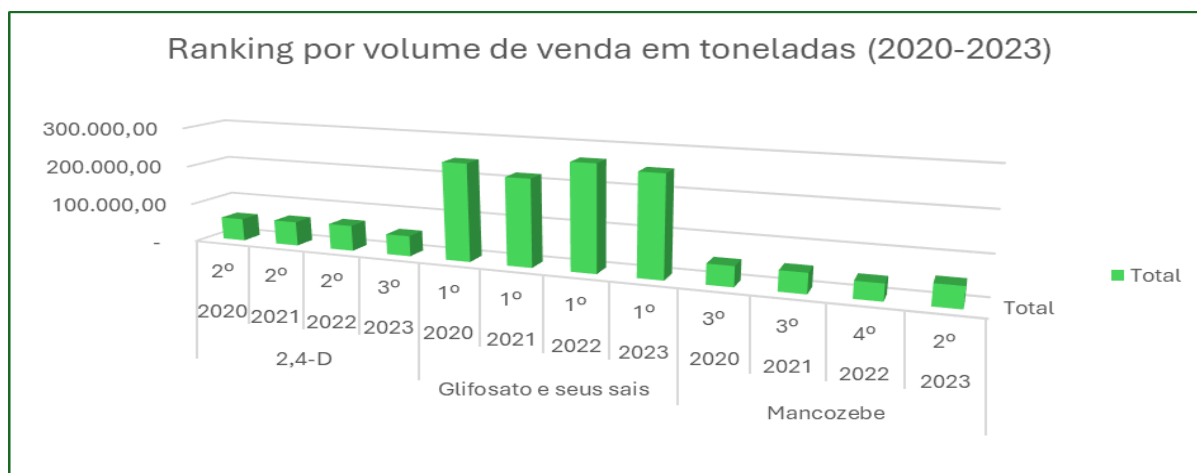
Além disso, o modelo GHS atualizado traz informações mais específicas sobre as questões de contato com o ser humano, indicando nas bulas a toxicidade ao contato via oral do agrotóxico (ingestão), dérmico (contato com a pele) e inalatório (respiração) (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER, 2019). Com isso, ao adquirir um agrotóxico registrado pelo MAPA, o produto conterà rótulo e bula em português, junto com a nova faixa de classificação, conforme figura 2.

Figura 2 – Exemplo de rótulo e bula no modelo GHS

Fonte: AgroMinas

2.2 Agrotóxicos mais comercializados entre 2020 e 2023

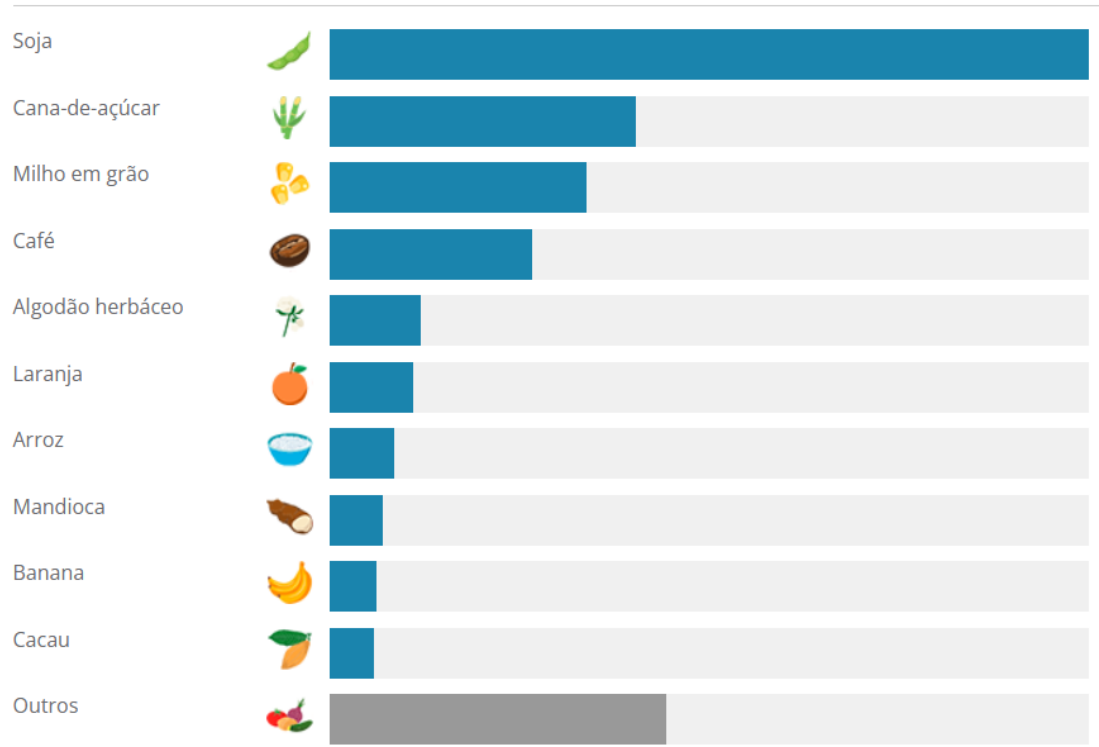
O IBAMA disponibiliza em seu site, relatórios de comercialização de agrotóxicos, que permitem analisar os ingredientes ativos consumidos pelo agro no Brasil. Cada relatório possui volume de venda em toneladas, ranqueando-os. O último relatório publicado pelo órgão público refere-se ao ano de 2023. Para comparativo, foram analisados os relatórios de 2020, 2021, 2022 e 2023. Com base nas informações publicadas, o glifosato e seus sais (herbicida), 2,4-D (herbicida), e o mancozebe (fungicida) foram os agrotóxicos mais comercializados neste período, como ilustrado na figura 3 (IBAMA, 2020-2023).

Figura 3 – Gráfico da quantidade comercializada dos agrotóxicos no Brasil (2020–2023)

Fonte: Adaptado de IBAMA (2020–2023)

A presença maior do glifosato, 2,4-D e mancozebe, se deve ao uso permitido nos cultivos agrícolas de arroz, aveia, café, cana-de-açúcar, milho em grão, soja e trigo (ANVISA, 2015; 2025). Dessa forma, a comercialização desses agrotóxicos está associada a produtos de consumo interno e exportação, como o café, cana-de-açúcar, milho em grão e soja (figura 4) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2024).

Figura 4 – Ranking de produção agrícola no Brasil em 2024



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2024)

2.2.1 Glifosato

O glifosato é um herbicida aplicado diretamente sobre plantas daninhas (pós-emergência) sendo absorvido pelas folhas (KANISSERY et al., 2019). É um agrotóxico sistêmico, translocado via xilema e floema para outras partes das plantas, inibindo seu crescimento (AOUN et al., 2025). Também, é considerado agrotóxico não seletivo, por não diferenciar culturas agrícolas de plantas daninhas (TSAI et al., 2019).

Ao considerar suas características físico-químicas, o IBAMA (2019) dispôs o perfil ambiental do glifosato (tabela 1), em que se observam dados relacionados às propriedades físico-químicas que conduzem a interação do agrotóxico com o solo.

Tabela 1 – Propriedades físico-químicas do glifosato

| Propriedade | Valor / Característica |
|--------------------------|---|
| Nome químico (IUPAC) | N-(fosfonometil)glicina |
| Fórmula molecular | $C_3H_8NO_5P$ |
| Massa molar | 169,07 g·mol ⁻¹ |
| Estado físico | Sólido cristalino (pó) |
| Ponto de fusão | ~ 200–215 °C (decomposição) |
| Solubilidade em água | Muito alta ($\approx 10\text{--}14\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ a 20–25 °C) |
| pH (solução aquosa 1%) | ~ 1,7 a 2,3 |
| pKa | 2,0; 2,6; 4,1–5,6; 10,4 |
| Pressão de vapor (25 °C) | Muito baixa (< 0,001 mPa) |
| Log Kow | Muito baixo ($\approx -3,6$ a < 0) |
| Volatilidade | Baixo |
| Persistência ambiental | Moderado (recursos hídricos) |
| Meia-vida no solo | ~ 1 a 17 dias (pode variar conforme solo) |

Fonte: Adaptado de IBAMA (2019); UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE (s.d.)

Alta solubilidade em água, baixa volatilidade e pouca afinidade com lipídeos, indicam forte interação com os minerais do solo (TONI et al., 2006). Nessa interação, o glifosato apresenta maior capacidade de adsorção devido à diferença de carga elétrica entre as moléculas do glifosato — que assumem caráter iônico em pH neutro e alcalino — e os sítios de carga positiva presentes nos óxidos dos solos (TONI et al., 2006).

Segundo o IBAMA (2019), o tempo de meia-vida da degradação do glifosato varia de 1 a 17 dias, dependendo do tipo de solo e das propriedades físico-químicas, como pH e teor de matéria orgânica. Seu potencial de contaminação está nos recursos hídricos, devido ao tempo de persistência ser maior pela alta solubilidade em meio aquoso (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, s.d.).

2.2.2 2,4-diclorofenoxiacético

O 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), por sua vez, é um composto sintético com uso herbicida, atuando no controle de folhas largas (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, s.d.). Sua ação é sistêmica, sendo translocado via vasos condutores – xilema e floema. (VIEIRA et al., 1998). Seu objetivo é intensificar os processos de desenvolvimento das plantas daninhas, levando à degradação da parede celular e consequentemente, à morte (VIEIRA et al., 1998).

As propriedades físico-químicas desse agrotóxico, permite que ele seja altamente solúvel em água e com baixa volatilização (IBAMA, 2019). Sua ação em solos argilosos com alta matéria orgânica tende à adsorção e em solos com menor teor de matéria orgânica, as argilas repelem o agrotóxico 2,4-D devido à sua forma aniônica (VIEIRA et al., 1998). Assim, o teor de matéria orgânica e o pH ácido intensificam o tempo de permanência e reduzem a lixiviação do agrotóxico (tabela 2). O tempo de meia-vida da degradação do 2,4-D varia entre 7 e 15 dias em solos ácidos e com alta matéria orgânica, degradando-se em curto período (IBAMA, 2019).

Tabela 2 – Propriedades físico-químicas do 2,4-D

| Propriedade | Valor / Característica |
|--------------------------|---|
| Nome químico (IUPAC) | Ácido 2-(2,4-diclorofenoxi)acético |
| Fórmula molecular | $C_8H_6Cl_2O_3$ |
| Massa molar | 221,03 g·mol ⁻¹ |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Ponto de fusão | 139–141 °C |
| Solubilidade em água | Alta (≈ 20.000 a 45.000 mg·L ⁻¹ , dependendo do pH) |
| pH (solução aquosa 1%) | $\sim 2,7 - 2,8$ |
| PKa | 3,29 |
| Pressão de vapor (25 °C) | Muito baixa ($< 10^{-5}$ mmHg) |
| Log Kow | -1,0 a 2,9 (dependente do pH) |
| Volatilidade | Baixa |
| Persistência ambiental | Baixa a moderada |
| Meia-vida no solo | ~ 7 a 15 dias |

Fonte: Adaptado de IBAMA (2019); UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE (s.d.)

Conforme tabela 2, as características do 2,4-D permitem que seu comportamento seja de maior mobilidade em solos pobres de matéria orgânica e consequentemente, arenosos. Assim, por ter baixa persistência no solo, seu potencial de contaminação decorre da alta solubilidade que o agrotóxico apresenta, gerando risco de mobilidade por escoamento superficial e lixiviação (IBAMA, 2019).

2.2.3 Mancozebe

O fungicida mancozebe é amplamente utilizado na pré e pós-emergência, atuando contra patógenos e doenças agrícolas, como manchas foliares e requeima (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, s.d.). O mancozebe possui baixa persistência no solo, devido à baixa solubilidade em água, baixa volatilização e ao meia vida de curta, variando de horas a 7 dias (tabela 3) (IBAMA, 2019).

Tabela 3 – Propriedades físico-químicas do mancozebe

| Propriedade | Valor / Característica |
|--------------------------|---|
| Nome químico (IUPAC) | manganese ethylenebis(dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt |
| Fórmula molecular | $(C_4H_6N_2S_4Mn)_x(Zn)_y$ |
| Massa molar | 541,01 g·mol ⁻¹ |
| Estado físico | Sólido (pó fino) |
| Ponto de fusão | Não funde (decompõe > 195 °C) |
| Solubilidade em água | Baixa (≈ 6 a 10 mg·L ⁻¹ a 25 °C) |
| pH (dispersão aquosa 1%) | ~ 7,0 |
| pKa | 8,9 a 10,3 |
| Pressão de vapor (25 °C) | Desprezível (< 10 ⁻⁷ torr) |
| Log Kow | ~ 1,3 a 1,8 |
| Volatilidade | Muito baixa |
| Persistência ambiental | Baixa |
| Meia-vida no solo | Horas a poucos dias (alta degradabilidade) |

Fonte: Adaptado de IBAMA (2019); UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE (s.d.)

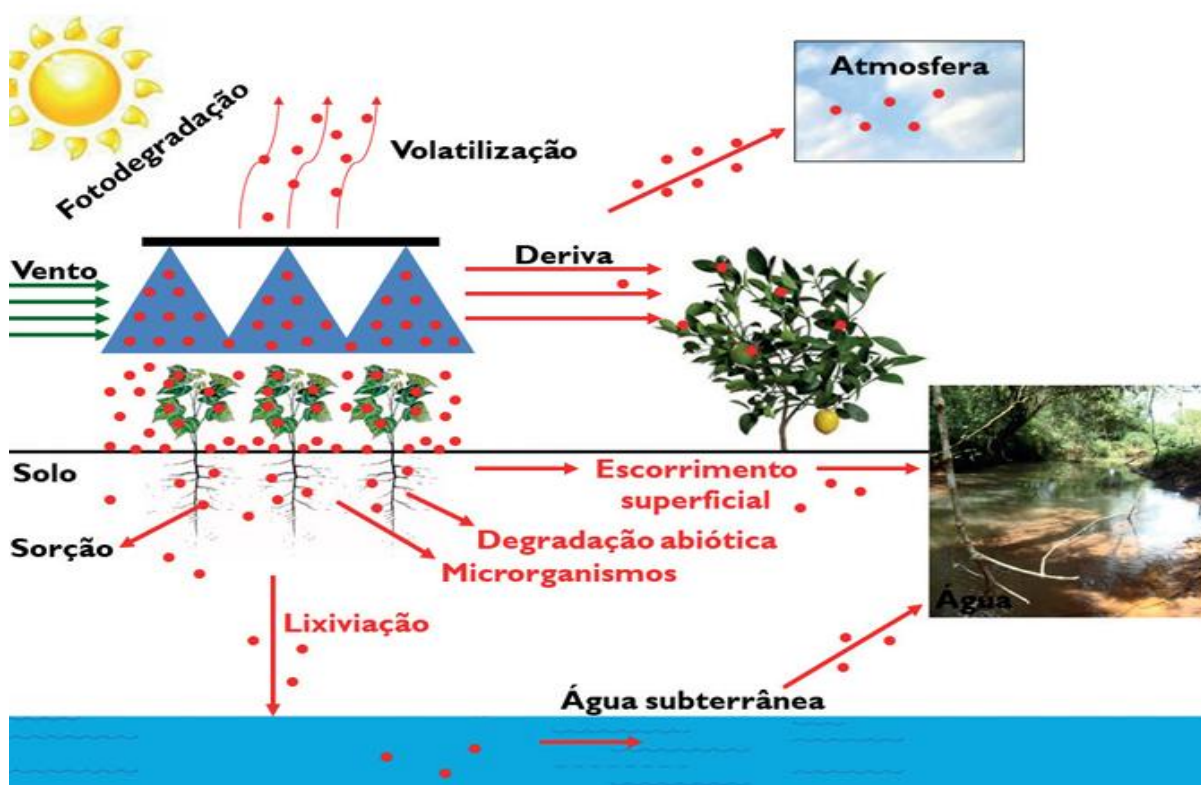
O mancozebe possui baixa toxicidade em mamíferos terrestres, porém gera efeitos negativos nas atividades metabólicas associadas à reprodução e desenvolvimento de animais aquáticos (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, s.d.). O tempo de meia-vida da degradação varia de 1 a 7 dias em solos ácidos e ricos em matéria orgânica (IBAMA, 2019).

Os impactos ambientais do fungicida mancozebe é alto em recursos hídricos, devido a sua alta toxicidade em peixes e animais aquáticos invertebrados, comprometendo as atividades metabólicas (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, s.d.).

2.3 Comportamento dos agrotóxicos e contaminação de solos

Os impactos ambientais dos agrotóxicos relacionam-se às suas propriedades físico-químicas, à composição do solo e às condições climáticas. Eles podem sofrer processos de fotodegradação, volatilização, sorção e adsorção, lixiviação, escoamento superficial, além de apresentarem efeito residual (figura 5) (EMBRAPA, 2018).

Figura 5 – Comportamento dos agrotóxicos no ambiente



Fonte: Documento 160 EMBRAPA (2018)

Em suma, quanto menos móvel é a molécula e mais adsorvida ela está no meio, menor é a sua capacidade de lixiviação. Dessa forma, entende-se que há baixo risco de contaminação de lençóis freáticos e maior risco de contaminação de produtos agrícolas, devido à permanência do agrotóxico na camada superficial do solo, atingindo as raízes dos alimentos (TONI et al., 2006). No caso de agrotóxicos com potencial de volatilização, sua dispersão pela deriva é maior, causando impactos em outras produções pela dispersão no ar (EMBRAPA, 2018).

Além da presença de resíduos no ambiente, há também em alimentos consumidos pelos seres humanos. Em 2024, a ANVISA divulgou sobre os resultados encontrados na pesquisa de 2023 sobre o “Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos”, alertando sobre o controle de “Limite Máximo de Resíduos” (LMR) permitidos em alimentos (ANVISA, 2024). O estudo ocorreu em 76 cidades brasileiras e com 3.294 amostras para análise de resíduos, na qual 0,67% foram amostras com potencial de risco à saúde, passando do LMR permitido (ANVISA, 2024). Com isso, os impactos negativos tanto à saúde quanto ao ambiente, estão associados ao modo de uso dos agrotóxicos, gerando consequências socioambientais.

2.4 Fitorremediação para solos contaminados por glifosato e 2,4-D

Uma estratégia de mitigação amplamente estudada é a fitorremediação, que utiliza plantas capazes de absorver, acumular ou degradar compostos tóxicos (JONES; ANSELMO, 2005). Trata-se de um processo biótico que evidencia o potencial natural de determinadas espécies associadas a microrganismos, promovendo a desintoxicação de poluentes orgânicos (GERHARDT et al., 2016). Os agrotóxicos são considerados poluentes orgânicos tóxicos por serem compostos sintéticos de origem antrópica (PILON-SMITS, 2005), e sua remediação depende de fatores físico-químicos e biológicos (PIRES et al., 2003).

No contexto da gestão ambiental, os bioensaios são ferramentas eficazes para detectar toxicidade e avaliar impactos ambientais de herbicidas (INOUE et al., 2022). De acordo com esses mesmos autores, para o glifosato e o 2,4-D, espécies como murerê rendado – fitorremediadora (*Azolla caroliniana*), lentilha-d'água – fitorremediadora (*Lemna minor*), beterraba – fitorremediadora (*Beta vulgaris*) e pepino – bioindicador (*Cucumis sativus*) apresentam potencial fitorremediador para os dois agrotóxicos.

Como qualquer processo de resolução de problemas, a fitorremediação apresenta potencialidades que influenciam diretamente a tomada de decisão (tabela 4). A

fitorremediação possui vantagens econômicas e ambientais em relação a outras técnicas de descontaminação, pois reduz custos operacionais e impactos à biodiversidade local (PIRES et al., 2003).

Tabela 4 – Esquematização das diversas formas de fitorremediação

| Mecanismo | Definição | Função/Benefício |
|-------------------|---|--|
| Fitoextração | Capacidade das plantas de absorver contaminantes do solo por meio de suas raízes e translocá-los para a parte aérea da planta (caule e folhas). | Remove contaminantes do solo, permitindo posterior colheita e descarte seguro da biomassa contaminada. |
| Fitodegradação | Degradação enzimática dos contaminantes dentro dos tecidos vegetais, convertendo-os em substâncias menos tóxicas ou não tóxicas. | Promove desintoxicação direta do contaminante, reduzindo sua persistência ambiental. |
| Rizodegradação | Decomposição de contaminantes na rizosfera (região das raízes) por ação de microrganismos estimulados pelos exsudatos radiculares. | Melhora a atividade microbiana do solo e acelera a biodegradação natural de poluentes. |
| Fitoestabilização | As plantas reduzem a mobilidade e biodisponibilidade dos contaminantes, imobilizando-os no solo por meio de complexação e absorção radicular. | Evita dispersão de metais e pesticidas, prevenindo contaminação de lençóis freáticos e erosão. |
| Fitovolatilização | As plantas absorvem contaminantes e os transformam em compostos voláteis, liberando-os para a atmosfera de forma menos tóxica. | Remove contaminantes gasosos ou solúveis através da transpiração. |
| Rizoestabilização | As raízes imobilizam contaminantes na rizosfera, deixando o contaminante inativo no solo, mas preservando sua estrutura molecular. | Diminui a mobilidade dos agrotóxicos, evita lixiviação e melhora a estrutura e equilíbrio biológico do solo. |

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| Cobertura vegetal (Adubação verde) | Uso de espécies vegetais que cobrem o solo, promovendo proteção, aumento da matéria orgânica e redução da erosão. | Melhora a estrutura e fertilidade do solo, reduz lixiviação e auxilia na mitigação de contaminantes. |
|---------------------------------------|---|--|

Fonte: Adaptado de ALVES et al. (2016); EMBRAPA (2023)

Essa prática pode ser realizada com o uso de equipamentos agrícolas comuns e favorece a recuperação das funções físicas e biológicas do solo (JONES; ANSELMO, 2005; PETERSEN et al., 2023). Além disso, contribui para minimizar processos erosivos e hídricos, restringindo o transporte de contaminantes e diminuindo o risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos (PIRES et al., 2003).

A fitorremediação é considerada uma técnica verde, devido a não envolver poluição visual do ambiente em que está inserida e por não emitir sons que perturbem os moradores próximos ao local de descontaminação (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). Do ponto de vista ambiental, as plantas fitorremediadoras capazes de degradar poluentes, ao serem mantidas no solo, possuem a capacidade de acumular matéria orgânica e enriquecê-lo de nutrientes (JONES; ANSELMO, 2005).

Sua presença pode metabolizar ou degradar os agrotóxicos, impedindo a contaminação mais profunda do solo e o dos recursos hídricos por escoamento superficial, por meio do controle de erosão dos solos (PETERSEN et al., 2023). Com isso, os aspectos descritos complementam o âmbito socioambiental, vinculando a prática social com a ambiental.

Contudo, a aplicação da fitorremediação depende de condições ambientais adequadas e pode ser limitada pelo tempo necessário para descontaminação, pelo tipo de solo e pelo grau de contaminação, que em casos severos pode inibir o crescimento vegetal (PILON-SMITS, 2005). Em alguns contextos, também é possível que o processo gere metabólitos de maior toxicidade, reduzindo sua eficácia (PIRES et al., 2003).

2.4.1 Adubação verde

Contudo, a fitorremediação não exclui a atuação dos adubos verdes no quesito descontaminação do solo. Os adubos verdes são conceituados como plantio de espécies com potencial de reciclar os nutrientes e metabólitos do solo (EMBRAPA, 2010). Sua ação é sustentável e se dá pelo uso de leguminosas que possuem alta capacidade de fixar nitrogênio

nos solos (EMBRAPA, 2010) e por meio das gramíneas, que produzem grande quantidade de biomassa e constituem-se de um sistema radicular desenvolvido (EMBRAPA, 2023).

A associação de gramíneas com leguminosas é capaz de promover cobertura vegetal no solo, auxiliando na recuperação de áreas contaminadas (EMBRAPA, 2023). A atuação das leguminosas no solo ocorre por meio da simbiose com bactérias presentes em suas raízes, as quais são capazes de retirar o nitrogênio da atmosfera e fixá-lo no solo, contribuindo para o aumento da fertilidade e da qualidade do solo (EMBRAPA, 2023).

Com a mesma finalidade da fitorremediação, as bactérias localizadas na rizosfera das plantas auxiliam na descontaminação de solos por meio da rizodegradação, processo que envolve a ação conjunta de microrganismos e exsudatos radiculares na degradação de contaminantes orgânicos (PIRES et al., 2003; PILON-SMITS, 2005).

Diante do exposto sobre a ação do adubo verde, para o glifosato, 2,4-D e mancozebe, o uso de leguminosas como crotalárias (*Crotalaria*), feijão-guandu (*Cajanus cajan*), feijão-veludo (*Mucuna pruriens*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e leucena (*Leucaena leucocephala*), associadas às gramíneas milheto (*Pennisetum glaucum*), aveia-preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*) e capim-mombaça (*Panicum maximum*), contribui para a proteção e melhoria da qualidade do solo, principalmente por meio do estímulo à atividade microbiana, da manutenção da cobertura vegetal rica em matéria orgânica, da redução da incidência de plantas daninhas e patógenos do solo, do aumento da ciclagem de nutrientes e da proteção contra processos erosivos (EMBRAPA, 2023). Dessa forma, é criada uma barreira que minimiza a contaminação do solo por agrotóxicos.

2.5 Gestão ambiental

A gestão ambiental, é o meio pelo qual as empresas e pessoas conseguem realizar a gestão de recursos naturais, de forma efetiva e consciente. Por meio da avaliação de impactos, planejamento, monitoramento e cumprimento da legislação ambiental, há eficiência na mitigação de impactos ambientais. Como meio de potencializar as ferramentas informadas, a gestão ambiental atua junto à educação ambiental, sendo fundamental para agregar valor e clareza sobre os conceitos do meio ambiente (SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023).

A educação ambiental é uma ação prevista em título legislativo, conforme artigo 2º, inciso X, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (BRASIL, 1981). Esse dispositivo estabelece que a educação

ambiental deve estar presente em todos os níveis de ensino e nas comunidades, objetivando a formação de uma consciência voltada a preservar e melhorar a qualidade do meio ambiente (BRASIL, 1981).

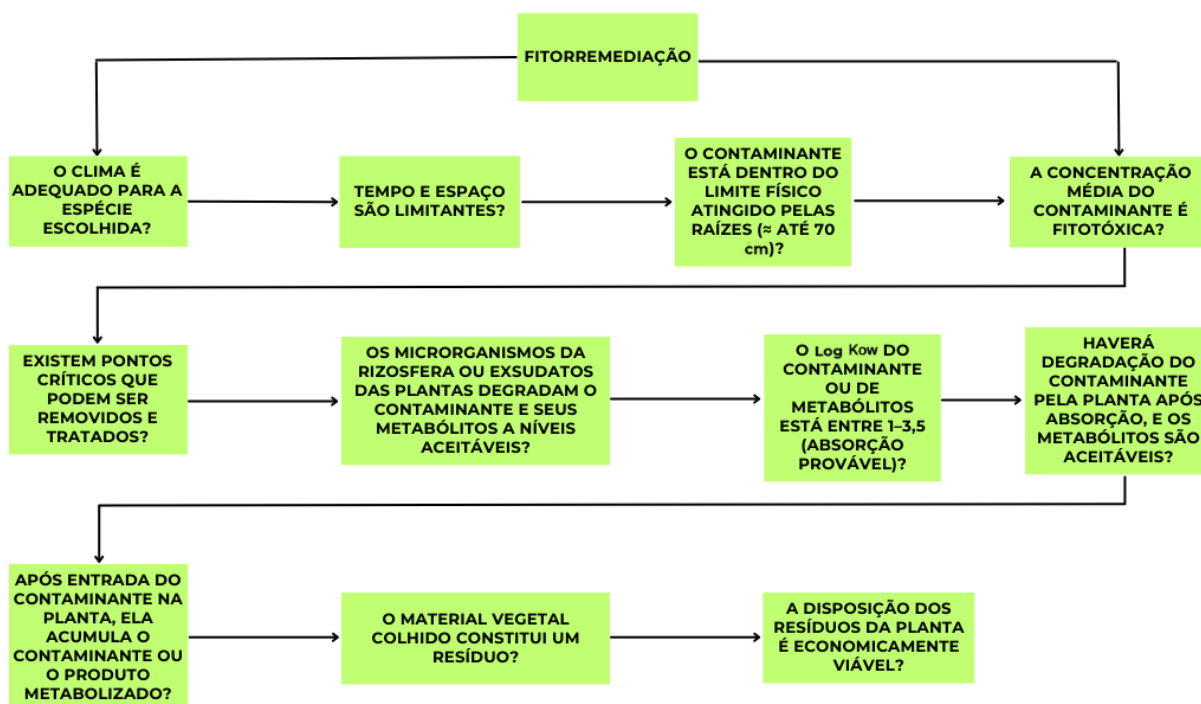
O envolvimento das comunidades na educação ambiental pode aprimorar e beneficiar as ações de mitigação de solos contaminados. Ao promover a conscientização sobre a importância do solo para a subsistência humana, considerando a qualidade de vida e a segurança alimentar, torna-se possível estimular as práticas sustentáveis.

Esse engajamento pode ocorrer por meio de oficinas educativas que envolvam uma roda de conversa sobre o sentimento de pertencimento ao local com o seu cuidado, também a valorização dos benefícios decorrentes de solos descontaminados — como a melhoria da qualidade de vida, a redução da contaminação das águas superficiais e a segurança dos alimentos *in natura* —, incentivo ao uso responsável e seguro dos agrotóxicos nas plantações e superação de barreiras socioeconômicas.

As barreiras socioeconômicas estão ligadas a falta de informação sobre a fitorremediação no meio social, ao baixo investimento ao desenvolvimento dessa técnica e pelo apelo comercial reduzido (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). A inclusão da educação ambiental nas comunidades, permite que a fitorremediação seja de conhecimento geral e que seus benefícios reflitam na visão de conscientização e pertencimento do local em que estão situados.

Para que o gestor ambiental possa implementar a prática da fitorremediação em solo contaminado, deve-se observar de forma analítica a busca por respostas que visem viabilizar ou não, a descontaminação do solo por meio da fitorremediação. Seguindo o fluxograma (figura 6), nota-se um passo a passo sobre as melhores perguntas e como elas podem direcionar a tomada de decisão para a implementação da descontaminação dos solos.

Figura 6 – Fluxograma para análise da implementação da fitorremediação em solos contaminados



Fonte: Adaptado de MARQUES; AGUIAR; SILVA (2011)

Uma série de questionamentos é abordada para que possa checar a viabilidade da fitorremediação. As condições ambientais (clima) para crescimento e desenvolvimento da planta, a morfologia das espécies de plantas sensíveis (características), potencial de gerar metabólitos tão tóxicos quanto a substância original (capacidade de degradar, acumular e absorver poluente), tempo para descontaminação e tamanho da área, auxiliam na tomada de decisão (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). Como discorrido anteriormente, o glifosato, 2,4-D e mancozebe, são agrotóxicos capazes de serem fitorremediados de maneira eficaz, por isso, a implementação da fitorremediação gera impactos positivos ao ambiente.

Além disso, há a importância do gestor ambiental em gerenciar as áreas contaminadas como por exemplo os solos, através de medidas fiscalizadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A gestão de áreas contaminadas compreende etapas sequenciais de identificação de fontes de contaminação (amostragem), investigação detalhada para caracterização da extensão e riscos, e subsequente definição de medidas de remediação, conforme menciona a Resolução CONAMA nº 420/2009 (Brasil, 2009).

Na prática, dois dentre outros projetos de fitorremediação foram publicados nos últimos anos. O primeiro se refere a parceria entre a Unidade Federal do Espírito Santo

(UFES), com a Fundação Espírito-santense de Tecnologia (FEST) e a Petrobras. Segundo a publicação da FEST, redigida pela Vanessa Pianca, a ideia de utilizar a fitorremediação foi devido a ser uma prática mais economicamente viável e sustentável, engajando alunos na busca por soluções mais sustentáveis e a positividade em firmar parcerias com empresas. Algo intrigante nesta pesquisa foi sua finalidade e tempo de execução. Como abordado, a prática fitorremediação e seus estudos, requerem tempo. No caso do primeiro projeto, Vanessa Pianca afirma que foram cinco anos para identificar duas espécies com potencial para descontaminar o solo e efluentes de metais pesados (CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FEST).

O segundo projeto teve o apoio do Governo do Pará, Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS) e da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA). A matéria “Projeto que propõe a descontaminação do solo a partir de plantas entra em sua fase final” publicada em 2022, discorre sobre o desenvolvimento de um banco de dados com espécies nativas da Amazônia e de grande potencial fitorremediador, para a adequação de descontaminação de solos e águas por poluentes e metais pesados (AGÊNCIA PARÁ, 2022). Assim como o primeiro projeto, a matéria aborda sobre os benefícios sociais e ambientais oriundas da fitorremediação, além de sua capacidade de guiar a sociedade para um futuro mais sustentável.

Por meio de relatórios e avaliações ambientais publicados pelo IBAMA, é possível identificar os agrotóxicos mais consumidos no Brasil, além de suas propriedades físico-químicas que geram impacto ambiental (IBAMA, 2019). Em casos de contaminação do solo por uso de agrotóxicos, o gestor ambiental pode aplicar técnicas para descontaminá-lo, seguindo etapas fiscalizadas pela CETESB. Por fim, através da fitorremediação é possível gerar benefícios socioambientais, que junto com a educação ambiental, fortalece a conscientização ambiental.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos e do solo é essencial para avaliar o potencial de contaminação de uma determinada área. Além disso, a implementação da nova lei dos agrotóxicos, juntamente com o método de classificação desses produtos por meio de pictogramas e informações mais precisas, contribui para o manuseio sustentável dos agrotóxicos.

Entretanto, ainda há problemas quanto a fiscalização e uso desorientado dos agrotóxicos, gerando impactos ambientais e sociais. Nesse contexto, a contaminação do solo tende a ser uma discussão no âmbito ambiental, visto que, tanto as propriedades do solo quanto as dos agrotóxicos, determinam o comportamento das moléculas do poluente em interação com a matriz do solo.

Como resposta a problemática de contaminação, é atribuída a fitorremediação. Esse processo se deve ao uso de plantas capazes de absorver, acumular ou degradar compostos tóxicos, sendo considerada como uma alternativa sustentável para a descontaminação de solo contaminado. Os benefícios de sua aplicação englobam a esfera social e ambiental, além de conciliá-las com a educação ambiental.

Os benefícios sociais da fitorremediação incluem a melhoria da qualidade de vida, a redução da contaminação das águas superficiais e a promoção da segurança dos alimentos in natura, além do incentivo ao uso responsável e seguro dos agrotóxicos nas plantações e ao auxílio na superação de barreiras socioeconômicas.

Nas âmbito ambiental, a fitorremediação apoia a preservação das propriedades físico-químicas do solo, permitindo que ele não desequilibre ambientalmente. Também, os mecanismos da fitorremediação geram impactos positivos quanto ao controle de erosão, evitando o transporte dos agrotóxicos para as camadas mais profundas do solo e escoamento superficial em recursos hídricos. Em associação, os adubos verdes permitem maior cobertura vegetal e nutrição, estimulando as atividades microbianas do solo e protegendo-o.

Diante disso, a gestão ambiental é essencial para atribuir benefícios sociais e ambientais, devido aos processos geridos pelo profissional. Por fim, a educação ambiental busca demonstrar a relação do indivíduo com o ambiente, desenvolvendo por meio de ações, a sensação de pertencimento e cuidado, gerando consequentemente, benefícios ambientais devido ao uso mais consciente dos agrotóxicos e aos cuidados com áreas pertencentes a comunidades locais.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA PARÁ. **Projeto que propõe a descontaminação do solo a partir de plantas entra em sua fase final.** Belém, 22 abr. 2022. Disponível em: <https://www.agenciapara.com.br/noticia/36500/projeto-que-propoe-a-descontaminacao-do-solo-a-partir-de-plantas-entra-em-sua-fase-final>. Acesso em: 27 out. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Parecer Técnico de Reavaliação nº 07/2015/GGTOX – Reavalia os riscos à saúde humana do ingrediente ativo ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). **Brasília: ANVISA**, 2015. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2719308/Parecer+T%C3%A9cnico+de+Reavalia%C3%A7%C3%A3o+n%C2%BA+7-2015+-+GGTOX.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Aprovada consulta pública sobre glifosato. **Portal Gov.br**, 27 fev. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/aprovada-consulta-publica-sobre-glifosato>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Monografia de Agrotóxicos – M02: Mancozebe. Brasília: **ANVISA**, [revisão de 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- AGRICULTURE AND ENVIROMENT RESEARCH UNIT – University of Hertfordshire. **PPDB Herbicide Index – A to Z List of Herbicides.** Pesticide Properties DataBase (PPDB). Disponível em: https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz_herb.htm. Acesso em: 11 dez. 2025.
- ALVES, O. R.; BANDEIRA, O. A.; BORGES, A. A.; PRADO, R. M.; PASQUALETTO, A. Biotecnologias de remediação de solos contaminados com agroquímicos. **Agrarian Academy**, v. 3, n. 5, p. 1–12, 2016. DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2016_003.
- AOUN, P. G. et al. Glyphosate use in crop systems: risks to health and soil interactions. **Toxics**, Basel, v. 13, n. 11, p. 971, 2025. DOI: 10.3390/toxics13110971.
- BRASIL. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. v. 1, 2. ed. Brasília: Embrapa, 2023.

- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Anvisa divulga resultado de monitoramento de agrotóxicos em alimentos. **Brasília, 2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2024/anvisa-divulga-resultado-de-monitoramento-de-agrotoxicos-em-alimentos>. Acesso em: 27 out. 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Estabelece critérios e valores orientadores para avaliação da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dispõe sobre diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2009.
- BRASIL. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva – Agrotóxico. **Gov.br**. Publicado em 20 maio 2022; atualizado em 20 dez. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxico>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023**. Dispõe sobre o Programa Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 27 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/14785.htm. Acesso em: 26 set. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 26 set. 2025.
- BRASIL. **Registrar agrotóxico**. Portal Gov.br, 19 ago. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/registrar-agrotoxico>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- BRASIL. Publicada reclassificação toxicológica de agrotóxicos. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- EMBRAPA. **Adubos verdes: uma alternativa auto-sustentável de fertilização na Coopavel**. Brasília: Embrapa, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18116785/adubos-verdes-uma-alternativa-auto-sustentavel-de-fertilizacao-na-coopavel-2010>. Acesso em: 21 out. 2025.
- EMBRAPA. Comportamento dos herbicidas no ambiente. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018.

- FEST – Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 491 – **Projeto Fitorremediação: parceria entre FEST, UFES e Petrobras para gestão ambiental**. Disponível em: <https://fest.org.br/projeto/projeto-fitorremediacao-parceria-entre-fest-ufes-e-petrobras-para-gestao-ambiental/>. Acesso em: 27 out. 2025.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Pesticides use and trade. 1990–2022**. Highlights, 16 jul. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/pesticides-use-and-trade-1990-2022/en>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- GERHARDT, K. E. et al. Phytoremediation of organic soil contaminants: principles and perspectives. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 224–239, 2016.
- IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de Avaliação Ambiental de Ingredientes Ativos de Agrotóxicos**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/perfis-ambientais>. Acesso em: 2 out. 2025.
- IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de Comercialização de Agrotóxicos, 2020–2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/agrotoxicos>. Acesso em: 25 set. 2025.
- INOUE, M. H.; FERNANDES, T.; MENDES, K. F.; OLIVEIRA JR., R. S.; GUIMARAES, A. C. D.; MACIEL, C. D. G. Métodos de detecção de herbicidas no solo utilizando bioensaios. In: MENDES, K. F.; INOUE, M. H.; TORNISIELO, V. L. (org.). **Herbicidas no ambiente: impacto e detecção**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2022. v. 1, p. 163–186.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agropecuária – IBGE Explica**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- JONES, C. M.; ANSELMO, A. L. F. **Fitorremediação de solos contaminados – o estado da arte**. [S.l.: s.n.], 2005.
- KANISSERY, R.; GAIRHE, B.; KADYAMPAKENI, D.; BATUMAN, O.; ALFEREZ, F. Glyphosate: Its Environmental Persistence and Impact on Crop Health and Nutrition. **Plants**, v. 8, n. 11, p. 499, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants8110499>. Acesso em: 25 set. 2025.

- MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1–11, 2011.
- PETERSEN, B. C.; SOUZA, D. M.; SCHNEIDER, J. B.; SILVA, J. L.; LUDWIG, L. C.; MODOLO, R. C. E.; EVALDT, D. C.; MORAES, C. A. M. Uso da fitorremediação como tratamento para recuperação de áreas degradadas. **Revista Foco**, v. 16, n. 2, p. 1–15, 2023.
- PERES, F.; M., J. C.; S., A. C. Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, p. 11–21, 2003.
- PIGNATI, W. A. et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281–3293, 2017.
- PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 56, p. 15–39, 2005.
- PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O. Phytoremediation of herbicide-polluted soils. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335–341, 2003.
- RIBEIRO, D. S.; P., T. S. O agrotóxico nosso de cada dia. **Vitalle – Revista de Ciências da Saúde**, v. 28, p. 14–26, 2016.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O que é Educação Ambiental?** São Paulo, 26 jun. 2023. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/2023/06/o-que-e-educacao-ambiental/>. Acesso em: 21 out. 2025.
- TONI, L. R. M.; SANTANA, H.; ZAIA, D. A. M. Adsorção de glifosato sobre solos e minerais. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 829–833, 2006.
- TSAL, W. T. Trends in the use of glyphosate herbicide and its relevant regulations in Taiwan: a water contaminant of increasing concern. **Toxics**, v. 7, n. 1, p. 4, 2019.
- UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. About the GHS. **UNECE**, 2025. Disponível em: <https://unece.org/about-ghs>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- VIEIRA, E. M.; P., A. G. S.; L., M. D.; R., M. O. O. Estudo da degradação do herbicida 2,4-D em diferentes tipos de solo. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 8, p. 35–42, 1998.