

**CENTRO PAULA SOUZA
ETEC PROF. CARMELINO CORRÊA JÚNIOR
TEC. EM AGROPECUARIA**

**ANTONY MIGUEL TELES RIBEIRO
BRYAN JOSÉ BARBOSA PIMENTEL
GUSTAVO DA SILVA REIS**

POLUIÇÃO DO SOLO PELO USO DE AGROQUÍMICOS E IMPACTOS NA FERTILIDADE

**Franca
2025**

ANTONY MIGUEL TELES RIBEIRO
BRYAN JOSÉ BARBOSA PIMENTEL
GUSTAVO DA SILVA REIS

POLUIÇÃO DO SOLO PELO USO DE AGROQUÍMICOS E IMPACTOS NA FERTILIDADE

Versão Original

TCC apresentada a Etec Prof. Carmelino Corrêa Júnior como requisito da conclusão do curso de técnico em agropecuária.

Área de Concentração: Meio Ambiente e agropecuária sustentável.

Orientador: Clayson Correia de Sousa

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos dar força e sabedoria durante essa jornada.

Aos nossos familiares e amigos, pelo apoio e paciência ao longo do processo.

Aos nossos orientadores, Professor Clayson e Professora Cíntia pela orientação e dedicação.

Aos demais professores e à instituição de ensino, por todo o conhecimento compartilhado. E a nós, integrantes do grupo, pelo esforço, companheirismo e trabalho em equipe.

Nossos sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Há algo fundamentalmente errado em tratar a terra como se fosse um negócio em liquidação.
(Herman Daly)

POLUIÇÃO DO SOLO PELO USO DE AGROQUÍMICOS E IMPACTOS NA FERTILIDADE

RIBEIRO, Antony Miguel Teles*

PIMENTEL, Bryan José Barbosa*

REIS, Gustavo da Silva *

RESUMO

Os produtos fitossanitários tornaram-se indispensáveis para a agricultura moderna, tendo em vista que o aumento populacional exigiu uma maior produção de alimentos. Contudo, o uso excessivo e incorreto de agrotóxicos pode causar sérios danos ao meio ambiente, como contaminação do solo, do lençol freático, dos produtos cultivados e, conseqüentemente, provocar danos à saúde humana. (Brasil Escola et al., 2019). Nessa linha, os impactos do uso excessivo de agroquímicos na agricultura tem contribuído à infertilidade dos solos brasileiros, causando danos socioeconômicos e ambientais. Além disso, a dependência excessiva desses insumos compromete a qualidade ambiental, pois o solo perde sua capacidade natural de regeneração e de manutenção da fertilidade a longo prazo (Ferreira et al., 2019). Este trabalho possui como objetivo demonstrar os impactos do uso excessivo e incorreto dos agroquímicos na agricultura, bem como suas conseqüências na fertilidade e preservação dos solos brasileiros, através de uma revisão bibliográfica de documentos técnicos, pesquisas científicas e legislações vigentes. Desta forma, levar à compreensão de que, a relação entre poluição e a fertilidade do solo é indispensável para a mudança na agricultura moderna à uma agricultura sustentável.

Palavras-chave: Produtos Fitossanitários, Meio Ambiente, Sustentabilidade e Poluição

CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR EL USO DE AGROQUÍMICOS E IMPACTOS EN LA FERTILIDAD

RIBEIRO, Antony Miguel Teles*
PIMENTEL, Bryan José Barbosa*
REIS, Gustavo da Silva*

RESUMEN

Los productos fitosanitarios se han vuelto indispensables para la agricultura moderna, dado que el aumento poblacional exigió una mayor producción de alimentos. Sin embargo, el uso excesivo e incorrecto de plaguicidas puede causar serios daños al medio ambiente, como la contaminación del suelo, del manto freático, de los productos cultivados y, consecuentemente, provocar daños a la salud humana (Brasil Escola et al., 2019). En este sentido, los impactos del uso excesivo de agroquímicos en la agricultura han contribuido a la infertilidad de los suelos brasileños, generando daños socioeconómicos y ambientales. Además, la dependencia excesiva de estos insumos compromete la calidad ambiental, ya que el suelo pierde su capacidad natural de regeneración y de mantenimiento de la fertilidad a largo plazo (Ferreira et al., 2019). El presente trabajo tiene como objetivo demostrar los impactos del uso excesivo e incorrecto de los agroquímicos en la agricultura, así como sus consecuencias en la fertilidad y preservación de los suelos brasileños, mediante una revisión bibliográfica de documentos técnicos, investigaciones científicas y legislaciones vigentes. De este modo, se pretende llevar a la comprensión de que la relación entre la contaminación y la fertilidad del suelo es indispensable para la transición de la agricultura moderna hacia una agricultura sostenible.

Palabras clave: Productos Fitosanitarios, Medio Ambiente, Sostenibilidad y Contaminación.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01.....	16
Figura 02.....	18
Figura 03.....	18
Figura 04.....	19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária;

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DRES – Rapid Diagnosis of Soil Structure (Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo)

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPSPS – 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (enzima)

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IQS – Índices Qualitativos de Solo

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MOS – Matéria Orgânica do Solo

PARA – Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos

PGPE – Practical Guide for Participative Evaluation of Soil Quality (Guia Prático para Avaliação Participativa da Qualidade do Solo)

pH – Potencial Hidrogeniônico

SMAF – Soil Management Assessment Framework (Estrutura de Avaliação do Manejo do Solo)

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	10
2.DESENVOLVIMENTO	11
3. O SOLO COMO UM SISTEMA AGRÍCOLA E AMBIENTAL	11
3.1. Atributos da Fertilidade do Solo	11
3.2. A importância da Matéria Orgânica e da Biota Edáfica	12
4. Conceito e Indicadores de Qualidade do Solo	13
5. O USO DE AGROTÓXICOS NA AGRICULTURA MODERNA	14
6. Classificação e Tipos de Agrotóxicos e suas Funções	14
7. Legislação Brasileira sobre o Registro e Uso de Agrotóxicos (Lei Federal nº 14.785/2023)	16
8. DINAMICA DO AGROTOXICOS NO SOLO	17
8.1 Processos de Transferência e destino do agroquímicos	17
8.2 Mecanismo de degradação dos agrotóxicos	19
9. IMPACTO DA CONTAMINAÇÃO POR AGROTOXICOS NA FERTILIDADE	21
10. TOXIDADE E PREJUÍZOS A MICROBIOTA DO SOLO	23
11. COMO EVITAR A CONTAMINAÇÃO DO SOLO PELOS AGROQUIMICOS	24
12. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional tem levado a consequente necessidade de produções mais intensivas de alimentos, garantindo assim um dos objetivos mais importantes atualmente – a erradicação da fome do mundo. Nessa linha, marcou-se a revolução verde como ápice de mudanças nas atividades agrícolas, baseando-se no uso de agroquímicos, tendo como objetivo ampliar a produtividade agrária.

Sendo assim, surge a expressão Revolução Verde, desenvolvida em 1966, em uma Conferência em Washington, tendo como pleito abolir a fome no mundo. Nesse viés Rosa preconiza como:

O problema da fome tornava-se cada vez mais sério em várias partes do mundo, e o governo americano e os grandes capitalistas temiam que se tornasse elemento decisivo nas tensões sociais existentes em muitos países, o que poderia ampliar o número de nações sob o regime comunista, particularmente na Ásia e na América Central, tradicionais zonas de influência norte-americana (ROSA, 1988, p. 19).

Neste norte, a Revolução Verde contribuiu para o aprimoramento da agricultura moderna, focada na máxima produtividade, no menor tempo possível. Para conquistar esses objetivos houve o desenvolvimento de sementes altamente resistentes a diversas pragas e doenças, aliando-se ao uso de agrotóxicos, fertilizantes, corretivos, implementos agrícolas e maquinários, originando assim sistemas de produções intensivos focados na alta produtividade, desconsiderando os danos socioambientais.

Por outro lado, no cenário brasileiro, no âmbito da ditadura militar, era discutido sobre qual alternativa o país deveria seguir para garantir o aumento em sua produtividade agrícola. Encaminhando duas possibilidades que foram amplamente idealizadas: Primordialmente, a que sustentava o aumento da produtividade, por intermédio de reformas agrárias, em contrapartida, existia a que defendia a necessidade de bancos tecnológicos pelos produtores, olvidando-se nas questões fundiárias.

O Governo Militar preferiu adotar o modelo pautado na Revolução Verde, através do uso intensivo de agrotóxicos, sementes geneticamente modificadas, implementos agrícolas e insumos, mesmo que seu uso se leva a poluição e degradação ambiental, modelando-se assim, o Capitalismo Preditivo, focado apenas na alta produtividade econômica.

Mais tardiamente, iniciou-se a corrida em favor dos Direitos Ambientais, pois a humanidade percebeu que o uso excessivo desses produtos de agroquímicos são estava levando a degradação de ecossistemas e dos solos brasileiros.

Assim, considerando todos esses fatores, viemos através deste trabalho demonstrar os danos causados pelo uso irracional de agroquímicos na agricultura moderna, em especial, seus danos a fertilidade do solo.

Definem-se como objetivos específicos:

- a. Analisar os impactos que o uso intensivo de agroquímicos causam no solo e no meio ambiente;
- b. Descrever o uso correto e sustentável de produtos fitossanitários;

- c. Analisar e descrever os meios e as formas de poluição do solo e suas consequências na fertilidade do solo;
- d. Descrever medidas de despoluição do solo e as consequências legais.

Desta forma, torna-se indispensável o estudo do uso correto de produtos de agroquímicos na agricultura, bem como suas consequências na fertilidade do solo e na vida edáfica. Não olvidando-se do estudo das formas de despoluição dos solos contaminados e suas consequências ambientais e legais.

2. DESENVOLVIMENTO

3. O SOLO COMO UM SISTEMA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

3.1. Atributos da Fertilidade do Solo

O solo é um sistema vivo e multifacetado, indispensável tanto para a estabilidade ambiental quanto para o progresso das atividades agrícolas. Sendo organizado em três fases: sólida, líquida e gasosa que atuam entre si e atestam as características imprescindíveis para ajudar a manter a fertilidade do solo e promover o crescimento das plantas. O entendimento desses componentes e de suas prerrogativas é indispensável para mensurar os danos que os agroquímicos provocam no solo, comprometendo diretamente o desenvolvimento das culturas e a imobilidade ecológica.

A fase sólida do solo pode ser dividida em: a viva e a não viva. Na porção viva estão presentes organismos como minhocas, insetos, raízes e microrganismos, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e pela ciclagem de nutrientes. Por outro lado, a porção não viva é composta por partículas minerais, sub-classificadas em minerais primários, que originam os secundários, e minerais secundários, que resultam das mudanças dos primeiros. A distribuição dessas partículas no meio forma a porosidade do solo, representada pelos nomeados macroporos e microporos, cuja divergência está relacionada à dimensão granulométrica dos minerais. Essa estrutura porosa é vital, visto que garante a circulação de água e ar, incentivando o desenvolvimento das raízes e da fauna edáfica.

A fase líquida, por sua vez, refere-se à porção hídrica contida no solo, cujo volume é proporcional à porosidade do solo. A água infiltra-se, move-se e se armazena nesses poros, podendo ocorrer de diversas formas, tais como água higroscópica, capilar ou gravitacional. Malgrado, constitui um elemento primordial para a estruturação da vida no solo, a água também atua como meio de transporte de nutrientes, sendo, portanto, crucial à nutrição da fauna, flora e das culturas agrícolas.

Por fim, a fase gasosa condiz aos gases presentes no interior dos poros. Sua presença está condicionada à disponibilidade de espaço livre, uma vez que, quando a água completa os poros, os gases são afastados. A presença equilibrada da fase gasosa é indispensável para garantir a disponibilidade de oxigênio no solo, possibilitando a respiração das raízes e dos microrganismos.

A dinâmica entre essas fases instrui as propriedades físico-químicas do solo, em especial na denominada "terra fina", responsável pela realização das trocas de cátions. A capacidade de troca de cátions (CTC) apresenta-se como um pressuposto vital para a

fertilidade, pois se relaciona diretamente com a capacidade de retenção e disponibilização de nutrientes para as plantas. Solos com boa CTC são capazes de fornecer nutrientes de forma eficiente, como consequência, levando ao desenvolvimento das plantas.

Para que o solo seja fértil, é necessário que se mantenha uma porosidade razoável e equilibrada, boa retenção de nutrientes e CTC equilibrada, bem como estar livre de elementos tóxicos ou disruptores, como o alumínio. Altos níveis de alumínio podem ocorrer em solos contaminados por defensivos agrícolas ou em condições de acidez, prejudicando a absorção de nutrientes, considerando que esse mineral se envolve nos pontos de adsorção dos coloides, prejudicando a conquista dos elementos nutricionais pelas plantas.

Nessa linha, a contaminação do solo por agroquímicos é um fator danoso ao meio. O uso irresponsável de fertilizantes artificiais, herbicidas e pesticidas pode levar a mudança de sua composição físico-química, danificar a biota, restringir a porosidade e meter-se na disponibilidade de nutrientes. Sendo assim, a aferição constante da integridade dos atributos do solo, bem como do possível impacto gerado pelos produtos fitossanitários, é indispensável para garantir sua fertilidade e um cultivo mais eficiente, garantindo, conseqüentemente, a preservação ambiental.

3.2. A importância da Matéria Orgânica e da Biota Edáfica

Matéria Orgânica é o nome dado a todo material originado principalmente de organismos vivos, como plantas, animais, insetos, raízes dentre outros materiais orgânicos. A MOS (Matéria Orgânica do Solo) pode apresentar em diferentes graus de decomposição, sendo uma importante reserva de carbono, nutrientes e compostos energéticos para o solo. Diante disso, a ausência desses compostos transforma o solo em uma mistura de materiais interperizados, tornando-o infértil.

Trata-se de um composto imprescindível para o solo, levando a melhoria das características físico-químicas e biológicas do solo, levando a adsorção e retenção de nutrientes pela superfície do solo, aumentando, por conseguinte, a produtividade das plantas comerciais.

Pode-se originar de diversos resíduos, como plantas e animais em variadas etapas de decomposição, substâncias sintetizadas por processos químicos e biológicos, microrganismos e macroorganismos, decomposição de lodo de esgoto e resíduos urbanos e industriais dentre outras formas de resíduos orgânicos dissecados.

Sua composição está diretamente relacionada ao tipo de matéria decomposta, entretanto, em geral, a matéria orgânica do solo é formada por: carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre etc. Estes compostos localizam-se nas estruturas dos seres vivos decompostos, como celulose, hemicelulose, lignina, proteínas, aminoácidos, ácidos alifáticos, ceras, açúcares e gorduras. Representando quase 90% da composição corporal dos indivíduos vivos.

A qualidade do solo pode ser avaliada pela interação entre seus atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Desta forma, a MOS tendo em vista sua riqueza de nutrientes de coloides influencia diretamente nessas características do solo, conseqüentemente melhorando a fertilidade do meio e das plantas.

Além disso, a microbiota do solo, também conhecida, como microfauna, diz respeito a comunidade de microrganismos que habitam o meio terrestre. Essa comunidade de seres inclui bactérias, fungos, protozoários, nematoides dentre outros seres microscópicos.

A principal função da microfauna do solo consiste na limpeza na decomposição da matéria orgânica, decompondo os compostos mortos e transformando-os em nutrientes para serem adsorvidos pelos coloides e absorvidos pelas plantas. Além disso, os microrganismos desempenham uma importante função no processo de fixação de nitrogênio e na defesa das plantas contra patologias.

A saúde do solo está diretamente relacionada à presença de microrganismos no solo, pois eles realizam a decomposição das matérias orgânicas presentes no solo, tornando-a disponível para as plantas, outrossim liberam nutrientes indispensáveis para o desenvolvimento sadio dos vegetais. A matéria orgânica proveniente da decomposição de resíduos pela microfauna do solo possibilita a estruturação do solo, através do desenvolvimento de porosidade, o que aumenta a capacidade de retenção hídrica e reduz a atividade erosiva.

4. CONCEITO E INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

A avaliação do solo é importante para a produção agrícola, pois “A qualidade do solo, também conhecida como “saúde do solo”, é um aspecto crucial para a sustentabilidade ambiental e a produtividade agrícola. Ela é determinada pela integração entre as propriedades químicas, físicas e biológicas que influenciam a capacidade do solo de exercer os serviços ecossistêmicos efetivamente.” (SOLLOAGRO, 2024, p. 1).

A constatação da qualidade do solo pode ser realizada através de indicadores holísticos que identificam as propriedades do solo e suas mudanças, bem como seus efeitos na fertilidade das plantas. Esses mensuradores podem ser classificados em: físicos, químicos e biológicos, a depender de seu meio de análise.

Os indicadores físicos abrangem a qualidade hídrica do solo, a granulometria, incorporação do solo e sua resistência à penetração. Esses fatores são determinantes para a compreensão da estrutura do solo e sua capacidade de conservar água e nutrientes.

Os indicadores químicos englobam a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por alumínio, a soma das bases e o pH (potencial hidrogeniônico). Esses indicadores oferecem informações essenciais sobre a fertilidade do solo sua capacidade de oferecer nutrientes às plantas.

Os indicadores biológicos englobaram a fauna do solo, as atividades enzimáticas, o nitrogênio do solo, e a biomassa microbiana. Esses indicadores são imprescindíveis para analisar a atividade biológica do solo e sua função na ciclagem de nutrientes.

Os índices qualitativos de solo (IQS) reúnem as informações obtidas pelos indicadores (físicos, químicos e biológicos) ajudam na interpretação dos resultados. Alguns exemplos utilizados são: Soil Management Assessment Framework (SMAF), Rapid Diagnosis of Soil Structure (DRES) e Practical Guide for Participative Evaluation of Soil Quality (PGPE).

Desta forma, a averiguação e preservação da qualidade do solo pode interferir em questões como o controle de pragas, manutenção do solo, conservação da biodiversidade do solo e fertilidade do solo. Outrossim, a contaminação do solo por agroquímicos pode levar ao desequilíbrio da qualidade do solo, interferindo conseqüentemente nos indicadores de qualidades do solo.

5. O USO DE AGROTÓXICOS NA AGRICULTURA MODERNA

O Brasil preenche, há mais de uma década, a ranque de um dos maiores consumidores de agroquímicos do mundo. Com início nos anos 2000, observa-se um crescimento contínuo no uso desses produtos, estendido principalmente pelo desenvolvimento das monoculturas voltadas à exportação — em especial a soja, milho e algodão — e pelo fortalecimento do modelo agroindustrial. Dados da Embrapa (2023) demonstram que o consumo anual brasileiro supera 700 mil toneladas desses materiais comercializados, simbolizando um aumento de aproximadamente 87% entre 2010 e 2021. Preza-se que cerca de 54% desse volume seja destinado unicamente às culturas de soja, reiterando a dependência desse sistema produtivo em relação aos defensivos agrícolas.

A distribuição geográfica do uso de agrotóxicos no país também revela padrões de concentração. As regiões Sudeste e Sul integram, conjuntamente, por mais de dois terços do consumo total, com destaque para os estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. No Centro-Oeste, o Mato Grosso se sobressai como o maior consumidor, acompanhando o avanço da fronteira agrícola e a expansão da produção de commodities.

Da vertente econômica, o mercado de agrotóxicos representa valores consideráveis. Em 2020, a comercialização desses produtos atingiu cerca de R\$ 100 bilhões (BOELL, 2023). No mais, apura-se que aproximadamente 25% do volume total comercializado seja proveniente do mercado irregular, consequentemente causando prejuízos fiscais e expressivos danos ao Meio Ambiente. Os gastos com a capital de giro agrícola também demonstram esse vício: em alguns estados como Mato Grosso, a interação dos agroquímicos nos custos totais subiu de cerca de 30% para 44% ao longo de uma década (InfoVerus, 2023), revelando um crescimento exorbitante nos gastos dos produtores.

Embora contribuam para o controle de pragas e para o aumento da produtividade agrícola, os agrotóxicos trazem relevantes efeitos negativos. Entre esses impactos sobressaem a contaminação de solos e recursos hídricos, as perdas de biodiversidade e os prejuízos à saúde humana relacionados à exposição direta ou indireta aos produtos químicos. Esses empecilhos geram custos socioeconômicos relevantes, constantemente escondidos nas análises de valorização do agronegócio, contudo imprescindíveis para uma análise completa do padrão produtivo.

Diante do exposto, o panorama de consumo e o impacto econômico dos agrotóxicos no Brasil demonstram a obscuridade de um modelo agrícola que, embora produtivo, enfrenta desafios significativos, em face da sustentabilidade ambiental, à saúde pública e à competitividade de longo prazo. Desta forma, compreender esses fatores é fundamental para incentivar políticas públicas balanceadas e estratégicas que conciliem produtividade, segurança alimentar e preservação do meio ambiente.

6. CLASSIFICAÇÃO E TIPOS DE AGROTÓXICOS E SUAS FUNÇÕES

Os agrotóxicos podem ser classificados de acordo com o organismo atingido e pela forma de ação, sendo utilizados para o controle de insetos, fungos, plantas daninhas, ervas daninhas e pragas presentes no solo ou/e em produtos armazenados. Entre os principais subgrupos encontram-se os inseticidas, fungicidas, herbicidas, desfolhantes e fumigantes, cada um com características específicas e formas distintas de atuação.

Os **inseticidas** atuam no combate a insetos que causam danos às culturas agrícolas e podem operar por diversos mecanismos. Um dos mais comuns é a ação sobre o sistema nervoso, interferindo na transmissão dos impulsos nervosos por meio da inibição da acetilcolinesterase, resultando em acúmulo de acetilcolina e levando à hiperatividade, paralisia e morte dos insetos. Há também os inseticidas reguladores de crescimento, que interferem nos processos biológicos ligados ao desenvolvimento e reprodução, impedindo que os insetos completem seu ciclo de vida. Outro grupo relevante é o dos inibidores da respiração celular, que bloqueiam etapas essenciais da produção de ATP nas mitocôndrias. Existem ainda os inseticidas sistêmicos, absorvidos pelas raízes ou folhas e distribuídos pelo sistema vascular das plantas. Entre os inseticidas amplamente utilizados encontra-se a **Deltametrina**.

Os **fungicidas** são utilizados para combater fungos responsáveis por doenças nas plantas. Os fungicidas de contato formam uma película protetora sobre as folhas, impedindo a germinação dos esporos e sendo eficazes contra doenças superficiais, como ferrugens e fumaginas. Já os fungicidas sistêmicos são absorvidos pelos tecidos vegetais e atuam de dentro para fora, sendo indicados para doenças internas, como necroses e podridões. Entre os principais produtos utilizados encontram-se o **Mancozeb** e a **Clorotalonil**.

No caso dos **herbicidas**, utilizados para controlar plantas daninhas que competem com as culturas agrícolas, a classificação pode ser feita segundo a seletividade e o comportamento dos compostos. Os herbicidas seletivos eliminam plantas daninhas específicas sem prejudicar a cultura principal, enquanto os não seletivos possuem amplo espectro de ação. Eles também podem ser de contato, agindo apenas na parte atingida, ou sistêmicos, deslocando-se pelos tecidos da planta daninha por meio do xilema e/ou floema. Entre os herbicidas utilizados destacam-se o **Profam**, o **Diquat** e o **Diclobenil**.

Os **desfolhantes** são amplamente utilizados em culturas como o algodão, com o objetivo de promover a queda das folhas ou acelerar a maturação dos frutos. Substâncias como o **thidiazuron** reduzem a concentração e o transporte do ácido indolacético — hormônio que impede a abscisão foliar — enquanto o **etefom** aumenta a liberação de etileno, hormônio que estimula a queda das folhas e a maturação. Outros produtos utilizados incluem o **Paraquat**.

Os **fumigantes** são utilizados no controle de pragas presentes no solo, em produtos armazenados ou em materiais agrícolas. A fumigação consiste na aplicação de gases que eliminam pragas por inalação. Pode ocorrer por meio do **brometo de metila**, que requer concentrações específicas após 24 horas, ou pelo uso de **fosfina**, aplicada em pastilhas. A fosfina interrompe a respiração celular dos insetos, podendo levar dias para causar sua morte.

Figura 01: Ilustra as classificações de toxicidade dos agroquímicos

	CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4	CATEGORIA 5	NÃO CLASSIFICADO
	EXTREMAMENTE TOXICO	ALTAMENTE TOXICO	MODERAMENTE TOXICO	POUCO TOXICO	IMPROVÁVEL DE 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
	PMS Red 199 C	PMS Red 199 C	PMS Yellow C	PMS Blue 293 C	PMS Blue 293 C	PMS Green 347 C

Fonte: ANVISA/MAPA (2019).

A fiscalização do uso de agrotóxicos no Brasil é realizada por diferentes órgãos. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) implantou, em 2002, o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), que monitora os níveis de resíduos em alimentos e garante o cumprimento dos limites permitidos. Além disso, a **Lei Federal nº 14.785/2023** regulamenta a pesquisa, a produção, a comercialização e o uso desses produtos, definindo-os como substâncias destinadas à proteção das culturas, pastagens, florestas, ecossistemas e ambientes urbanos, com a finalidade de controlar organismos considerados nocivos.

7. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE O REGISTRO E USO DE AGROTÓXICOS (LEI FEDERAL Nº 14.785/2023)

A legislação brasileira que trata do registro, controle e uso de agrotóxicos é estruturada principalmente pela Lei Federal nº14.785/2023, conhecida como Lei dos Agrotóxicos. Essa norma estabelece regras rígidas para todas as etapas que envolvem esses produtos, desde sua pesquisa e experimentação até a produção, comercialização, transporte, aplicação e destinação final de suas embalagens. O objetivo central da lei é garantir que o uso de agrotóxicos ocorra de forma segura, reduzindo riscos à saúde humana, à fauna, à flora e ao meio ambiente como um todo.

Para que um agrotóxico seja autorizado no Brasil, ele precisa obrigatoriamente passar por um processo de registro triplo, que envolve a avaliação de três órgãos federais com competências distintas e complementares. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) analisa a eficácia agrônômica do produto, verificando se ele realmente funciona para o controle da praga ou doença alvo. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) avalia os riscos à saúde humana, como toxicidade aguda, crônica, capacidade de causar câncer, mutações genéticas ou problemas reprodutivos. Já o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) examina os impactos ambientais, considerando possíveis danos ao solo, à água, ao ar, à fauna e aos ecossistemas.

A Lei nº 14.785/2023 também estabelece proibições específicas. Não podem ser registrados produtos que apresentem características carcinogênicas, mutagênicas, teratogênicas, que provoquem distúrbios hormonais ou que representem risco significativo ao meio ambiente. Além disso, a legislação determina que a aplicação de agrotóxicos só pode ser feita com base em receituário agrônômico emitido por profissional habilitado, que avalia a necessidade real do produto e indica critérios de uso seguro.

Outro ponto importante é que a lei foi complementada pela Lei nº14.785/2023, que trata da responsabilidade pela destinação das embalagens vazias, obrigando os usuários a realizarem a devolução adequada e exigindo dos fabricantes programas de recolhimento e reciclagem. Essa medida reduz o risco de contaminação do solo e da água por resíduos tóxicos.

Assim, a legislação brasileira busca equilibrar produção agrícola e proteção socioambiental, impondo controles rigorosos e exigindo estudos detalhados sobre o comportamento dos produtos no ambiente. O conjunto dessas normas reforça a necessidade de uso responsável e consciente dos agrotóxicos, garantindo maior segurança para trabalhadores rurais, consumidores e para o meio ambiente.

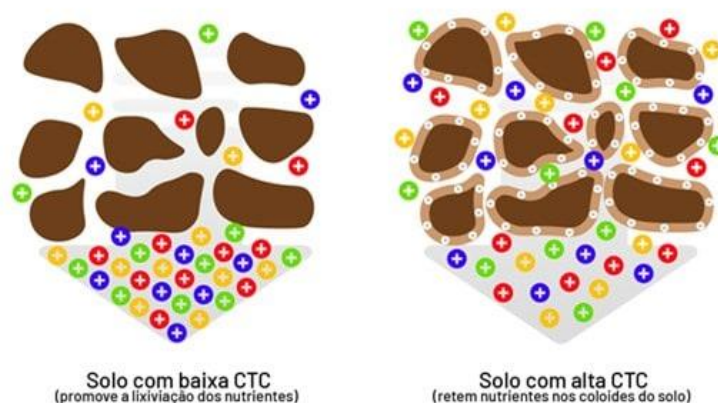
8. DINAMICA DO AGROTOXICOS NO SOLO

8.1 Processos de Transferência e destino do agroquímicos

A dinâmica dos agrotóxicos no ambiente solo envolve uma série de processos físicos, químicos e biológicos que determinam o comportamento, a persistência e o destino dessas substâncias após sua aplicação. Entre os mecanismos mais relevantes estão a adsorção, a lixiviação e a volatilização, cada um influenciado por fatores como tipo de solo, características físico-químicas do agrotóxico, clima, umidade e presença de matéria orgânica. Esses processos definem se o produto permanecerá no local de aplicação, se será transportado para zonas mais profundas ou se atingirá a atmosfera, determinando sua capacidade de causar contaminação ambiental.

A adsorção consiste na fixação das moléculas do agrotóxico às partículas sólidas do solo, como argilas e matéria orgânica. Trata-se de um processo essencial, pois regula a mobilidade e a disponibilidade da substância para plantas, microrganismos e água subterrânea. Quanto maior o teor de matéria orgânica e a superfície específica das partículas, maior tende a ser a capacidade adsorptiva do solo. A adsorção reduz o risco de contaminação das águas, já que diminui a migração do produto, mas também pode aumentar sua persistência local, retardando a degradação. Esse fenômeno é especialmente relevante em solos argilosos e ricos em húmus, e afeta diretamente a eficiência e a toxicidade ambiental dos agrotóxicos.

Figura 02 - Esquema da atração de cargas no solo

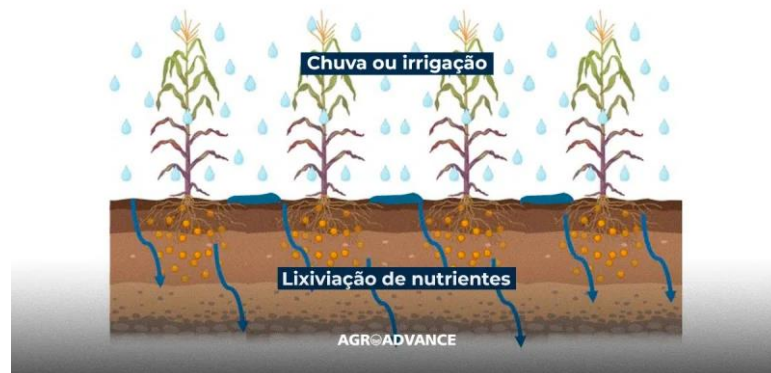


Fonte: Blog Verde Agro, 2022

Outro processo fundamental é a lixiviação, que corresponde ao transporte do agrotóxico dissolvido em água para camadas mais profundas do solo. Ela ocorre sempre em solução aquosa e depende da solubilidade do produto, da intensidade das chuvas, das condições de irrigação e da estrutura do solo. Solos arenosos apresentam maior suscetibilidade à lixiviação, pois suas partículas maiores e menor capacidade de retenção

facilitam o deslocamento vertical. Esse processo representa um risco significativo para a contaminação de aquíferos, uma vez que substâncias solúveis podem alcançar o lençol freático e comprometer a qualidade da água. Além disso, quando ocorre em escala natural, a lixiviação contribui para a perda de nutrientes essenciais e para o empobrecimento do solo, reduzindo a fertilidade e afetando a produção agrícola.

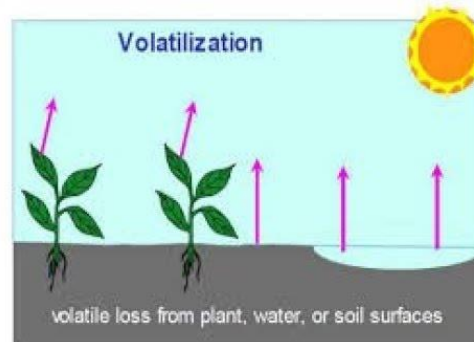
Figura 03 - Diagrama sobre lixiviação no solo



Fonte: Agroadvance, 2025

A volatilização, por sua vez, é o fenômeno em que o agrotóxico passa do estado líquido ou sólido para a fase gasosa, alcançando a atmosfera. Ela é influenciada principalmente pela temperatura, radiação solar, pressão de vapor da substância, teor de umidade do solo e velocidade dos ventos. Agrotóxicos de alta volatilidade podem evaporar rapidamente após a aplicação, reduzindo a eficácia do tratamento e aumentando o risco de deriva química, alcançando áreas vizinhas e contaminando ambientes não alvo. Esse processo também está associado à dispersão atmosférica de compostos orgânicos voláteis, que podem contribuir para a poluição do ar e representar risco à saúde humana, especialmente para trabalhadores rurais e comunidades próximas às áreas de cultivo. Em contextos laboratoriais e industriais, a volatilização é amplamente estudada por sua importância em técnicas de separação, purificação e análise, mas no ambiente rural ela representa um fator crítico de impacto ambiental.

Figura 04 – Processo de Volatilização



Fonte: Google, 2025

O destino final dos agrotóxicos no solo depende da interação entre esses processos. Substâncias fortemente adsorvidas tendem a permanecer por longos períodos no horizonte superficial, podendo sofrer degradação microbiana, química ou fotolítica. Já aquelas sujeitas a intensa lixiviação podem ser transportadas para profundidades maiores, com potencial de atingir águas subterrâneas. Agrotóxicos voláteis podem ser rapidamente removidos da superfície e dispersos pelo vento, alcançando vegetações próximas, corpos d'água e até ambientes urbanos. Mudanças no pH, na temperatura, na umidade e na composição química do solo podem mobilizar agrotóxicos previamente retidos, liberando-os novamente ao ambiente.

Portanto, compreender os mecanismos de adsorção, lixiviação e volatilização é fundamental para avaliar o comportamento ambiental dos agrotóxicos e seus potenciais riscos. Esses processos influenciam diretamente a segurança do uso agrícola, a proteção dos recursos hídricos, a qualidade do ar e a saúde dos ecossistemas, reforçando a importância de práticas de manejo sustentável, controle rigoroso de aplicação e responsabilidade ambiental no uso dessas substâncias.

8.2 Mecanismo de degradação dos agrotóxicos

Os mecanismos de degradação dos agrotóxicos no ambiente solo constituem etapa fundamental para determinar a persistência, a mobilidade e o potencial de impacto ambiental dessas substâncias. A degradação ocorre por diferentes processos físicos, químicos e biológicos que convertem os compostos aplicados em produtos menos complexos, podendo resultar em substâncias menos tóxicas, inofensivas ou, em alguns casos, em metabólitos ainda mais persistentes. Entre os principais mecanismos envolvidos destacam-se a biodegradação, a fotodegradação e a hidrólise, que agem de maneira complementar e dependem de fatores como temperatura, pH, umidade, características químicas da molécula e propriedades do solo.

A biodegradação é um processo essencialmente biológico, no qual microrganismos presentes no solo — como bactérias, fungos e actinomicetos — utilizam o agrotóxico como fonte de energia, carbono ou nutrientes, promovendo sua decomposição. Esse mecanismo é influenciado pela diversidade e pela atividade microbiana, que por sua vez dependem de condições ambientais como pH neutro, temperatura moderada, boa aeração e disponibilidade de matéria orgânica. Durante a biodegradação, os microrganismos podem atuar por metabolismo direto ou cometabolismo; no primeiro caso, o agrotóxico é incorporado ao ciclo metabólico como substrato, enquanto no segundo ele é transformado incidentalmente durante a degradação de outras substâncias. A eficiência desse processo é particularmente relevante para compostos orgânicos biodegradáveis, podendo levar à completa mineralização da molécula original, resultando em dióxido de carbono, água e biomassa microbiana. Em solos degradados, compactados ou com baixa atividade biológica, entretanto, a biodegradação tende a ser reduzida, aumentando a persistência do contaminante.

Outro mecanismo importante é a fotodegradação, que consiste na decomposição de agrotóxicos pela ação da radiação solar, especialmente radiação ultravioleta. Esse processo pode ocorrer tanto na superfície do solo quanto na interface solo-ar, dependendo da exposição direta à luz. A fotodegradação pode promover rupturas nas ligações químicas da molécula, formação de radicais livres, oxidação e outros processos que transformam o

composto original em derivados menos estáveis ou menos tóxicos. Embora seja mais intensa em superfícies expostas, sua eficácia depende de fatores como intensidade da luz, composição da molécula e presença de substâncias que atuem como fotossensibilizadores ou fotoinibidores. Em solos ricos em matéria orgânica e em ambientes sombreados, a fotodegradação pode ser limitada, pois o produto tende a permanecer adsorvido às partículas e protegido da incidência direta de radiação. Ainda assim, para certos grupos de agrotóxicos, como alguns herbicidas, a fotodegradação representa um dos principais caminhos de eliminação no ambiente.

A hidrólise constitui outro processo crucial de transformação química dos agrotóxicos no solo. Ela ocorre quando a molécula reage com moléculas de água, promovendo quebras nas ligações químicas e originando produtos derivados, geralmente menos complexos. A hidrólise pode ser catalisada por ácidos, bases ou enzimas presentes no próprio solo, sendo fortemente influenciada pelo pH e pela temperatura. Agrotóxicos suscetíveis à hidrólise costumam se degradar mais rapidamente em condições de pH extremo (muito ácido ou muito básico), enquanto em pH neutro a velocidade pode ser menor. Esse processo é especialmente relevante em solos úmidos ou em ambientes com alta disponibilidade de água, como áreas irrigadas ou regiões com regime intenso de chuvas. Em certos casos, a hidrólise pode resultar em produtos estáveis que mantêm alguma atividade biológica ou toxicológica, exigindo avaliação detalhada de seus efeitos ambientais.

A interação entre esses mecanismos determina o destino final do agrotóxico no ambiente. A biodegradação tende a ser o processo predominante em solos biologicamente ativos, enquanto a fotodegradação exerce influência maior nas camadas superficiais expostas à radiação. Já a hidrólise desempenha papel essencial em ambientes úmidos e com variação significativa de pH. Em muitos casos, a degradação completa ocorre pela ação conjunta desses processos, que fragmentam e transformam a molécula original em diferentes etapas. Contudo, certos agrotóxicos podem originar metabólitos mais persistentes que o composto inicial, acumulando-se no solo ou migrando para a água, o que reforça a necessidade de controle rigoroso e monitoramento ambiental.

Portanto, compreender os mecanismos de biodegradação, fotodegradação e hidrólise é fundamental para avaliar a persistência ambiental dos agrotóxicos, prever seus impactos sobre o ecossistema e orientar práticas de manejo mais seguras. Esses processos representam barreiras naturais à contaminação prolongada, mas também revelam a complexidade das interações entre os contaminantes e o ambiente, destacando a importância de políticas públicas, legislação específica e responsabilidade técnica no uso dessas substâncias.

9. IMPACTO DA CONTAMINAÇÃO POR AGROTOXICOS NA FERTILIDADE

A contaminação do solo por agroquímicos interfere diretamente na fertilidade, alterando tanto os atributos físico-químicos quanto os processos biológicos essenciais à manutenção da produtividade agrícola. Um dos mecanismos centrais que explicam essa interferência é a adsorção dos ingredientes ativos aos colóides minerais e orgânicos do solo, processo determinante para a mobilidade, persistência e disponibilidade dos compostos. Conforme afirmam Brady e Weil (2017), “a adsorção é o principal mecanismo que regula a retenção e a liberação de compostos orgânicos e inorgânicos no complexo sortivo do solo”, o que implica

que a dinâmica de fertilidade e a fisiologia vegetal não podem ser compreendidas sem considerar esse fenômeno. A adsorção tende a reduzir a lixiviação imediata e a contaminação de corpos hídricos, porém cria uma condição ambiental onde o solo passa a atuar como um reservatório, liberando o ingrediente ativo de forma lenta e contínua, fenômeno conhecido como efeito residual. Pimentel et al. (2019) destacam que “a fração adsorvida atua como um reservatório de liberação lenta, capaz de manter o ingrediente ativo disponível por semanas ou meses após a aplicação”, prolongando a exposição das plantas e aumentando o risco de impactos fisiológicos crônicos, mesmo em concentrações subletais.

Essa liberação residual interfere diretamente na fisiologia vegetal e, conseqüentemente, na fertilidade do solo, uma vez que a saúde das plantas, sua capacidade de absorver nutrientes e o equilíbrio microbiano da rizosfera são fundamentais para a manutenção da produtividade. Resíduos de herbicidas, especialmente inibidores da enzima ALS e da EPSPS, podem comprometer a síntese de aminoácidos essenciais, afetar rotas metabólicas e alterar processos fotossintéticos. Estudos de Zobiole et al. (2011) demonstraram que resíduos de glifosato presentes no solo reduzindo a absorção de micronutrientes como ferro, manganês e zinco, provocam diminuição da eficiência fotossintética, o que repercute no acúmulo de biomassa e no estado nutricional geral da planta. Da mesma forma, o efeito residual de herbicidas auxínicos pode alterar o crescimento radicular, reduzir a proliferação de raízes laterais e prejudicar a absorção de água e nutrientes, como confirma Silva e Monquero (2013) ao afirmar que “concentrações residuais inferiores às recomendadas comercialmente são suficientes para alterar a arquitetura radicular e comprometer a absorção de água e nutrientes”.

Além disso, a liberação gradual de resíduos adsorvidos pode induzir estresse oxidativo, aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) que afetam membranas, proteínas e pigmentos fotossintéticos. Gill e Tuteja (2010) explicam que a exposição contínua a pequenas doses de contaminantes eleva significativamente a demanda antioxidante das plantas, reduzindo sua eficiência metabólica e sua capacidade de crescimento. Esse estado crônico de estresse reduz a taxa fotossintética, prejudica a respiração celular e compromete o aproveitamento dos nutrientes presentes no solo, afetando diretamente sua fertilidade.

A interferência na fisiologia vegetal não ocorre isoladamente; ela se relaciona também ao impacto dos agroquímicos sobre a comunidade microbiana, essencial para a ciclagem de

nutrientes e para a estruturação da fertilidade natural do solo. A residualidade resulta em desequilíbrios na microbiota, redução de populações fixadoras de nitrogênio, diminuição da atividade enzimática do solo e comprometimento da decomposição da matéria orgânica, elementos fundamentais para a manutenção da fertilidade. Em síntese, a adsorção, embora reduza o risco de contaminação hídrica imediata, aumenta a permanência dos compostos no solo, prolongando sua capacidade de interferir no metabolismo das plantas e nos processos biológicos e químicos que sustentam a fertilidade.

Como resumem Rodrigues e Almeida (2018), moléculas com alto coeficiente de adsorção “possuem maior tendência a apresentar efeitos residuais prolongados, uma vez que a dessorção é lenta e condicionada a fatores ambientais”, o que significa que solos bem estruturados e ricos em matéria orgânica, embora fundamentais para agricultura sustentável, tornam-se também ambientes onde a residualidade pode ser intensificada. Conseqüentemente, a fertilidade do solo é afetada tanto pela redução da saúde das plantas quanto pelo comprometimento da microbiota e da disponibilidade de nutrientes, resultado direto da interação entre adsorção, persistência e efeitos fisiológicos crônicos.

10. TOXIDADE E PREJUÍZOS A MICROBIOTA DO SOLO

A microbiota do solo desempenha papel preponderante na ciclagem de nutrientes, na decomposição da matéria orgânica, na fixação biológica de nitrogênio e na recomposição da estrutura física do ecossistema edáfico. Quando o solo é contaminado por agroquímicos, em especial, aqueles com alta persistência ou propriedades biocidas, ocorre um impacto direto sobre a biomassa microbiana, reduzindo a diversidade de espécies e alterando as funções ecológicas essenciais. Como aponta Giller et al. (1998), “a sensibilidade da microbiota do solo à toxicidade de pesticidas é elevada, uma vez que muitos ingredientes ativos foram desenvolvidos para agir sobre processos bioquímicos fundamentais à vida microbiana”. Ou seja, mesmo doses residuais podem interferir em processos fundamentais, resultando em perda de fertilidade e desestabilização do equilíbrio biológico.

A toxidez dos defensivos afeta principalmente bactérias nitrificantes, decompositoras e microrganismos simbióticos envolvidos na fixação de nitrogênio e solubilização de fósforo. A exposição contínua modifica não apenas a composição da comunidade microbiana, mas também sua atividade enzimática. Singh e Wright (2002) destacam que a presença constante

de pesticidas no solo reduz significativamente a atividade de enzimas como desidrogenase, fosfatase e urease, essenciais para o metabolismo do nitrogênio e do fósforo. A redução dessa atividade enzimática compromete a mineralização de nutrientes, diminuindo a disponibilidade para as plantas e possibilitando impacto direto sobre a produção agrícola.

Diversos estudos demonstram que os danos à microbiota não dependem apenas da concentração aplicada, mas também do período de exposição, da capacidade de adsorção do solo e da persistência do ingrediente ativo. A residualidade prolongada intensifica o risco de toxicidade subletal, dificultando o restabelecimento da comunidade microbiana mesmo após semanas ou meses. Jacobsen e Hjelmsø (2014) observam que a presença de herbicidas e inseticidas afeta negativamente a adaptabilidade microbiana, reduzindo a diversidade funcional e aumentando a vulnerabilidade do solo a distúrbios ambientais.

Além disso, muitos agroquímicos causam efeitos indiretos ao alterar o pH do solo, aumentar espécies reativas de oxigênio no ambiente edáfico e modificar as interações entre microrganismos e raízes. Esses processos reduzem a capacidade simbiótica entre plantas e micro-organismos benéficos, como rizóbios e fungos micorrízicos. Martens (2000) afirma que “a interação planta–micro-organismo é uma das primeiras relações ecológicas a ser rompida na presença de compostos tóxicos, dificultando a fixação de nitrogênio e a absorção de nutrientes essenciais”.

Assim, os prejuízos à microbiota não se limitam à mortalidade microbiana, mas atingem toda a dinâmica ecológica do solo, afetando a fertilidade, a saúde das plantas e a capacidade produtiva do ecossistema. A toxicidade cumulativa, associada ao uso intensivo e repetido de agroquímicos, representa um dos principais fatores de degradação biológica do solo, reduzindo progressivamente sua qualidade e comprometendo a sustentabilidade agrícola ao longo do tempo.

11. COMO EVITAR A CONTAMINAÇÃO DO SOLO PELOS AGROQUÍMICOS

A prevenção da contaminação do solo pelos produtos de agroquímicos exige o uso de práticas que reduzam a entrada, permanência e mobilidade dos princípios ativos no ambiente biológico do solo. As formas de combate envolvem manejo correto das aplicações de defensivos, técnicas de conservação do solo, escolha minuciosa dos produtos químicos e fortalecimento da atividade microbiológica. De acordo com a FAO (2017), “a prevenção da

contaminação do solo depende mais de práticas agrícolas sustentáveis do que da remediação posterior, uma vez que a recuperação de solos degradados é lenta, cara e frequentemente incompleta”. Assim, a forma mais eficiente de proteção do solo é impedir que ele receba cargas químicas superiores à sua capacidade de degradação e adsorção.

Uma das medidas mais relevante compreende aplicar de forma sustentável os agroquímicos no solo, seguindo os fatores meteorológicos, às dosagens necessárias e às características físico-químicas do solo. Aplicações realizadas em períodos de chuva, ou sobre solos saturados, aumentam o risco de lixiviação e de transporte lateral dos ingredientes ativos, ampliando o potencial de contaminação. A EPA (2016) afirma que “a aplicação em condições inadequadas é a principal responsável pela mobilidade de pesticidas no ambiente”, reforçando a necessidade de planejamento técnico. Nessa linha, a escolha de produtos de menor persistência e menor potencial de bioacumulação reduz significativamente o risco ambiental.

Outra estratégia indispensável é a manutenção de altos teores de matéria orgânica, que reestabilizada a estrutura do solo, aumenta a capacidade de adsorção, favorecendo a degradação biológica dos compostos. Solos biologicamente ativos apresentam maior capacidade de decompor resíduos químicos, diminuindo o tempo de permanência dos ingredientes ativos. Carvalho (2017) demonstra que a matéria orgânica funciona como “um filtro biológico capaz de reter moléculas e estimular sua degradação microbiana”, desempenhando papel essencial na proteção ambiental. O manejo racional, especialmente em sistema de plantio direto, contribui para essa proteção a superfície coberta do solo, reduzindo os processos erosivos e melhorando a infiltração hídrica.

Além disso, a rotação de culturas e o uso de intervenções biológicas reduzem a necessidade de aplicações repetidas de fitossanitários, diminuindo o potencial químico acumulado no solo. Sistemas diversificados geram menor incidência de pragas e em maior adaptabilidade biológica. Nicholls e Altieri (2018) observam que “sistemas agroecológicos reduzem drasticamente a dependência de agroquímicos e, conseqüentemente, a exposição do solo a resíduos tóxicos”, posto que previne a degradação edáfica a longo prazo.

O descarte correto das embalagens vazias e a tríplice lavagem também são medidas imprescindíveis para impedir que resíduos concentrados contaminem o solo. **A Lei nº**

14.785/2023¹ regula as diretrizes de devolução, limpeza e transporte dessas embalagens, indagando que a responsabilidade é solidaria entre agricultores, comerciantes e fabricantes. A desobediência a essas normas aumenta o risco de contaminação incidente, uma das formas mais tóxicas de poluição química do solo.

Diante de tudo, prevenir a contaminação do solo por agroquímicos depende de práticas compartilhadas de manejo, conservação e racionalização do uso, unindo técnicas atuais, legislação ambiental e práticas sustentáveis na agricultura. Apenas um modelo de produção que respeite a capacidade do solo é capaz de garantir sua integridade, produtividade e sustentabilidade ao longo do tempo.

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido ao decorrer deste trabalho permitiu identificar que o uso excessivo e irregular de agroquímicos constitui um dos principais fatores de degradação do solo na agricultura moderna. Embora os defensivos agrícolas desempenhem papel indispensável no aumento da produtividade agrícola, sua aplicação inconsciente provoca desequilíbrios profundos nos ecossistemas edáficos, por conseguinte, afetando a microfauna, reduzindo a fertilidade natural e comprometendo a capacidade de adaptação do solo a longo prazo.

A revisão bibliográfica deixou claro que os agroquímicos, ao se acumularem no ambiente, podem contaminar o solo, a água superficial e subterrânea, além de permanecerem nos alimentos, representando risco tanto ambiental quanto sanitário. Esse processo de contaminação está diretamente associado à perda de nutrientes, à diminuição da biodiversidade microbiana e à interrupção de ciclos biogeoquímicos essenciais para a manutenção de uma produtividade agrícola sustentável.

Processou-se, ainda, que a dependência indiscriminada de insumos químicos agrava problemas socioeconômicos, especialmente em regiões agrícolas onde a fertilidade do solo constitui a base de subsistência. Tais empecilhos reiteram a necessidade de políticas públicas integradas, de fiscalização eficiente, de educação ambiental e do incentivo a práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas, o uso de bioinsumos e a agricultura de base ecológica.

Deste modo, conclui-se que a transição para modelos agrícolas sustentáveis não é apenas uma alternativa, mas uma necessidade atual. A compreensão da relação entre a contaminação e a fertilidade do solo permite definir padrões técnicos e políticas, estimulando

¹ **Preambulo:** Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem, a rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e das embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, de produtos de controle ambiental, de seus produtos técnicos e afins; revoga as Leis nºs 7.802, de 11 de julho de 1989, e 9.974, de 6 de junho de 2000, e partes de anexos das Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 9.782, de 26 de janeiro de 1999.

o uso de sistemas produtivos que preservem os recursos naturais e garantam a tutela alimentar das futuras gerações.

Este trabalho, ao englobar diferentes estudos e artigos técnicos, reitera que a sustentabilidade agrícola depende da estabilidade entre produtividade, proteção ambiental e uso racional de insumos químicos. O grande desafio está em implementar práticas que reduzam os impactos negativos dos agroquímicos e assegurem a recuperação e conservação dos solos brasileiros.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ZORZAN, Lucas Ghion; STRESSER, Cleyton; OENNING, Letícia Maria; DIAS, Luana; BOSSZKOWSKI, Roberta Bomfim; PASSINI, Larissa de Brum. Propriedades e índices físicos de solos. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <https://gegeo.ufpr.br/wp-content/uploads/2024/09/propriedades-e-indices-fisicos-de-solos.pdf>. Acesso em: 04 out. 2025.

BERNARDI, Alberto C. de Campos. Artigo: benefícios da matéria orgânica dos solos em sistemas integrados. Embrapa, Brasília, DF, 5 dez. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85521955/artigo-beneficios-da-materia-organica-dos-solos-em-sistemas-integrados>. Acesso em: 30 out. 2025.

MACHADO, Anderson Wolf. A importância da matéria orgânica no solo e na sua produtividade! Agrolink, 25 ago. 2024. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/adubacao-organica/a-importancia-da-materia-organica-no-solo-e-na-sua-produtividade-492919.html>. Acesso em: 30 out. 2025.

PIZOL, José Vitor. Compactação do solo: quais os tipos e efeitos. Nutrição de Safras, 11 maio 2023. Disponível em: <https://nutricaodesafras.com.br/compactacao-do-solo>. Acesso em: 30 out. 2025.

SOLLOAGRO. Qualidade do solo: entenda o conceito e quais indicadores usar. Equipe de Conteúdo SolloAgro. São Paulo, 13 set. 2024. Disponível em: <https://solloagro.com.br/qualidade-do-solo-entenda-o-conceito-e-quais-indicadores-usar/>. Acesso em: 30 out. 2025.

EMBRAPA. *Artigo: Benefícios da matéria orgânica dos solos em sistemas integrados*. Embrapa Pecuária Sudeste, 05 dez. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85521955/artigo-beneficios-da-materia-organica-dos-solos-em-sistemas-integrados>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MACHADO, Anderson Wolf. *A importância da matéria orgânica no solo e na sua produtividade*. Agrolink, s.d. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/adubacao-organica/a-importancia-da-materia-organica-no-solo-e-na-sua-produtividade-492919.html>. Acesso em: 17 nov. 2025.

TERRAMAGNA. *Desfolhantes: maior eficiência e rapidez na colheita*. Equipe TerraMagna. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://terramagna.com.br/blog/desfolhantes/>. Acesso em: 21 nov. 2025. TerraMagna

AGRIQ. *Herbicidas: guia completo com tudo o que você precisa saber*. Equipe AgriQ. Goiânia, s.d. Disponível em: <https://agriq.com.br/herbicidas/>. Acesso em: 21 nov. 2025. agriq.com.br

FORTH JARDIM. *Quais os principais tipos de fungicidas?* Equipe Forth Jardim. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://forthjardim.com.br/blog/pragas-e-doencas/quais-os-principais-tipos-de-fungicidas->. Acesso em: 21 nov. 2025. Forth Jardim

SYNGENTA MAISAGRO. *Tudo sobre inseticidas: tipos, características e manejo integrado*. Equipe MaisAgro. São Paulo, 20 mar. 2025. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobre-agro/tudo-sobre-inseticidas-tipos-caracteristicas-e-manejo-integrado/>. Acesso em: 21 nov. 2025. Portal Mais Agro

SUMMIT AGRO / AGRO ESTADÃO. *Principais tipos de agrotóxicos e os riscos no uso*. Auto Summit Agro. São Paulo, 02 jan. 2020. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/summit-agro/principais-tipos-de-agrotoxicos-e-os-riscos-no-uso>. Acesso em: 21 nov. 2025. Agro Estadão

REMESSA ONLINE. *O que é e pra que serve a fumigação*. Equipe Remessa Online. São Paulo, 15 jul. 2023. Disponível em: <https://www.remissaonline.com.br/blog/o-que-e-e-pra-que-serve-a-fumigacao/>. Acesso em: 21 nov. 2025. remessaonline.com

ANVISA / Ministério da Agricultura e Pecuária. *Anvisa vai reclassificar defensivos agrícolas que estão no mercado*. Brasília, 23 jul. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/anvisa-vai-reclassificar-todos-os-agrotoxicos-que-estao-no-mercado>. Acesso em: 21 nov. 2025.

BRASIL. Lei n.º 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre agrotóxicos e afins, seu registro, controle, produção, comercialização e uso. Diário Oficial da União, 12 jul. 1989. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/legislacao/arquivos-de-legislacao/lei-7802-1989-lei-dos-agrotoxicos>. Acesso em: 25 nov. 2025. Serviços e Informações do Brasil+2Portal da Câmara dos Deputados+2

BRASIL. Lei n.º 9.974, de 6 de junho de 2000. Altera a Lei n.º 7.802/1989, dispendo sobre a destinação de embalagens vazias de agrotóxicos. Diário Oficial da União, 07 jun. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9974impresao.htm. Acesso em: 25 nov. 2025. planalto.gov.br+1

BRASIL ESCOLA. O que é lixiviação? Paloma Guitarrara. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-lixiviacao-solo.htm>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MAESTROVIRTUALE. O que é volatilização? Disponível em: <https://maestrovirtuale.com/o-que-e-volatilizacao/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

AKTAR, W. *et al.* **Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards.** *Interdisciplinary Toxicology*, v. 2, n. 1, p. 1–12, 2009. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2984095/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

PINHEIRO, Karen Danielle; PEREIRA, Quésia do Nascimento; MACEDO, Daniela Padilha; INOUE, Miriam Hiroko. O impacto dos fungicidas sobre a microbiota do solo: uma revisão bibliográfica. *ARACÊ*, v. 7, n. 11, p. e9760, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/9760>. Acesso em: 25 nov. 2025.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The Nature and Properties of Soils*. 15. ed. Ohio: Pearson, 2017. Disponível em: <https://www.pearson.com/us/higher-education.html>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 48, n. 12, p. 909–930, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>. Acesso em: 25 nov. 2025.

PIMENTEL, D. *et al.* Environmental and economic costs of the application of pesticides. *Environmental Development and Sustainability*, v. 21, p. 1–27, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9900-9>. Acesso em: 25 nov. 2025.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. *Guia de Herbicidas*. 8. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2018. Disponível em: <https://www.guiaherbicidas.com.br>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SILVA, P. V.; MONQUERO, P. A. Persistência de herbicidas no solo e impactos em culturas sucessoras. *Planta Daninha*, v. 31, n. 1, p. 1–10, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000100001>. Acesso em: 25 nov. 2025.

ZOBIOLE, L. H. S. *et al.* Glyphosate affects chlorophyll, nodulation and nutrient accumulation of “second generation” glyphosate-resistant soybean. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 99, p. 53–60, 2011.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.10.005>
 Acesso em: 25 nov. 2025.

GILLER, K. E.; WITTER, E.; McGRATH, S. P. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 30, n. 10–11, p. 1389–1414, 1998.
 Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00126-2)
 Acesso em: 26 nov. 2025.

SINGH, B. K.; WRIGHT, D. Decomposition of herbicide residues in soil: microbial and biochemical considerations. *Advances in Agronomy*, v. 75, p. 1–32, 2002.
 Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)75027-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)75027-2)
 Acesso em: 26 nov. 2025.

JACOBSEN, C. S.; HJELMSØ, M. H. Agricultural soils, pesticides and microbial diversity. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 27, p. 15–20, 2014.
 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.09.003>
 Acesso em: 26 nov. 2025.

MARTENS, D. A. Management and crop residue influence soil aggregate stability. *Journal of Environmental Quality*, v. 29, p. 723–727, 2000.
 Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900030013x>
 Acesso em: 26 nov. 2025.

CARVALHO, F. P. Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental Science & Policy*, v. 9, p. 685–692, 2017.
 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.017>
 Acesso em: 26 nov. 2025.

EPA — Environmental Protection Agency. Pesticide Environmental Risk Assessment. Washington, 2016.
 Disponível em: <https://www.epa.gov>
 Acesso em: 26 nov. 2025.

FAO — Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soil Pollution: A Hidden Reality. Rome: FAO, 2017.
 Disponível em: <https://www.fao.org>
 Acesso em: 26 nov. 2025.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. Agroecology: principles for the conversion and redesign of farming systems. *Journal of Ecosystem & Ecography*, v. S5, p. 1–8, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.4172/2157-7625.S5-010>
Acesso em: 26 nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023. Regulamenta o destino final de embalagens vazias de agrotóxicos. *Diário Oficial da União*, 27 dez. 2023. Disponível em: [L14785](#) Acesso em: 26 nov. 2025.

Blog Verde Agro. Esquema mostra a atração de cargas que acontece no solo. 2022. Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/wp-content/uploads/2022/06/Esquema-mostra-a-atracao-de-cargas-que-acontece-no-solo..jpg> . Acesso em: 26 de novembro de 2025.