



Danos Ambientais, Impactos: A Saúde e Prevenção da Poluição Causada por Pesticidas

Environmental Damage, Health Impacts and Prevention of Pollution Caused by Pesticides

Ruama Maeli Gonçalves da Silva

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco–UNICAP. 52050-900 Recife, PE. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6180-0748>

Caio Protetor

Graduado em Licenciatura Plena em Ciências Biológicas, Universidade Católica de Pernambuco–UNICAP. 52050-900 Recife, PE. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8017-5518>

Camila Freire de Melo

Programa de Pós-graduação em Biotecnologia - (RENORBIO) - UFRPE ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8601-5489>

Eliana Cristina Barreto Monteiro

Escola de Tecnologia e Comunicação Universidade Católica de Pernambuco–UNICAP. Universidade de Pernambuco- UPE. 52050-900 Recife, PE ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0842-779X>

Galba Maria de Campos-Takaki

Escola de Tecnologia e Comunicação, Coordenadora do Centro Multiusuário Biomoléculas e Superfície de Materiais- CEMACBIOS, MCTI/ Universidade Católica de Pernambuco -UNICAP. 52050-900 Recife, PE. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>

Resumo: A intensificação do uso de pesticidas na agricultura moderna, motivada pelo aumento da produtividade e controle fitossanitário, tem gerado preocupações ambientais, sanitárias e sociais. A aplicação contínua e muitas vezes indiscriminada desses compostos químicos está associada à contaminação de solo, águas e ar, além da degradação da biodiversidade e impactos na saúde humana. Os pesticidas também contribuem para desequilíbrios ecológicos e agravam as mudanças climáticas, por meio da emissão de gases do efeito estufa e da interferência em ciclos biogeoquímicos. Além disso, os custos ambientais e sociais, frequentemente negligenciados, sobrecarregam os sistemas públicos de saúde e comprometem a sustentabilidade da agricultura. Diante disso, destacam-se alternativas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas, o uso de bioinsumos práticas agroecológicas, e a importância de políticas públicas, capacitação técnica e educação ambiental para mitigar os efeitos negativos dos agrotóxicos.

Palavras-chave: Impactos ambientais; biodiversidade; sustentabilidade; agroecologia.

Abstract: The intensified use of pesticides in modern agriculture to increase productivity and control plant health has generated environmental, health and social concerns. The continuous and often indiscriminate application of these chemical compounds is associated with soil, water and air contamination, as well as the degradation of biodiversity and impacts on human health. Pesticides also contribute to ecological imbalances and aggravate climate change through the emission of greenhouse gases and interference in biogeochemical cycles. In addition, the environmental and social costs, which are often overlooked, overburden public health systems and jeopardize the sustainability of agriculture. Given this scenario, sustainable alternatives stand out, such as integrated pest management, the use of bio-inputs and the adoption of agro-ecological practices, as well as the importance of effective public policies, technical training and environmental education to mitigate the negative effects of pesticides.

Keywords: Environmental impact; Biodiversity; Sustainability; Agroecology.

INTRODUÇÃO

A intensificação do uso de pesticidas nas últimas décadas tem sido uma prática recorrente no setor agroindustrial, sendo justificada pela busca por altos índices de produtividade e pela necessidade de controle fitossanitário em larga escala. No entanto, a aplicação contínua e muitas vezes indiscriminada dessas substâncias químicas tem acarretado sérios impactos ambientais, sociais e sanitários. A degradação dos solos, a contaminação de aquíferos, a alteração na dinâmica dos ecossistemas e a redução da biodiversidade são algumas das consequências associadas à persistência e à toxicidade desses compostos no ambiente (Barroso *et al.*, 2025; Fernandes *et al.*, 2020).

A exposição direta ou indireta a resíduos de pesticidas pode provocar desde quadros de intoxicação aguda até o desenvolvimento de doenças crônicas, como distúrbios endócrinos, neurológicos e oncológicos. Tais efeitos são agravados pela bioacumulação e biomagnificação dessas substâncias ao longo das cadeias tróficas, ampliando seus riscos ambientais e toxicológicos. Nesse contexto, torna-se imprescindível a adoção de estratégias sustentáveis de manejo agroecológico, como o manejo integrado de pragas (MIP), o uso de agentes biológicos de controle, a substituição por compostos naturais de baixa toxicidade e a implementação de políticas públicas rigorosas voltadas à regulação do uso de agrotóxicos (Ali *et al.*, 2021).

Os pesticidas são classificados conforme o tipo de organismo-alvo, sendo os principais grupos: inseticidas (insetos), herbicidas (plantas daninhas), fungicidas (fungos), acaricidas (ácaros), nematocidas (nematoides) e bactericidas (bactérias). Cada categoria apresenta especificidades quanto ao mecanismo de ação, tempo de persistência e potencial tóxico, demandando avaliação criteriosa quanto aos riscos ecotoxicológicos e à compatibilidade com sistemas produtivos sustentáveis (De Medeiros *et al.*, 2021).

Os agrotóxicos são comercializados em diferentes formulações, abrangendo inseticidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas, acaricidas, rodenticidas, moluscicidas, formicidas, reguladores e inibidores de crescimento. Dentre essas categorias, os herbicidas correspondem a aproximadamente 48% do total de defensivos agrícolas utilizados, seguidos pelos inseticidas (25%) e pelos fungicidas (22%) (De Medeiros *et al.*, 2021). Tanto no Brasil quanto na União Europeia, as políticas relacionadas aos recursos hídricos são estruturadas por meio de legislações e programas que visam garantir o uso sustentável da água, considerando os múltiplos usuários e interesses envolvidos, aspectos essenciais para assegurar a qualidade e a disponibilidade hídrica (Faria, Padovesi-Fonseca, 2020). Entretanto, na realidade prática, especialmente no contexto brasileiro, a efetividade dessas políticas é frequentemente limitada, o que compromete os avanços esperados na gestão integrada dos recursos hídricos.

Portanto, desde 1985 que a secretária Nacional de Vigilância Sanitária do ministério da saúde vem publicando as monografias dos pesticidas que apresentam registro para o uso no Brasil, onde contém os respectivos valores de LMR nos alimentos, que são oriundos das culturas em que serão registrados. Conforme descrito dentro da lei, ela estabelece os critérios legais para a pesquisa, produção, comercialização, uso, importação e fiscalização de agrotóxicos no Brasil. Dentre seus dispositivos mais relevantes, destaca-se a exigência de registro prévio junto aos órgãos federais competentes do Ministério da Agricultura, Ministério da Saúde e Ministério do Meio Ambiente, e a proibição de substâncias que apresentem características mutagênicas, carcinogênicas ou que causem distúrbios hormonais. A legislação também prevê a classificação toxicológica dos produtos, a obrigatoriedade de capacitação dos aplicadores e a responsabilização civil, penal e administrativa por danos causados à saúde pública e ao meio ambiente, promovendo, assim, um marco regulatório fundamental para a segurança no uso desses compostos (Adaf, 2024).

PESTICIDAS NO AMBIENTE: FONTES, RISCOS E PERSISTÊNCIA

A contaminação ambiental por pesticidas constitui uma preocupação crescente no campo da saúde pública e da sustentabilidade agrícola. Esses compostos, amplamente utilizados na agricultura convencional para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, podem alcançar diferentes compartimentos ambientais, como o solo, a água e o ar, por diversas vias e processos físico-químicos. A variedade de produtos agroquímicos disponíveis reflete a complexidade do manejo de pragas, doenças e plantas daninhas nas atividades agrícolas. Esses compostos incluem não apenas os pesticidas convencionais, como herbicidas, inseticidas e fungicidas, mas também substâncias com funções específicas, como repelentes, esterilizantes, fumigantes e reguladores de crescimento. A figura 1 apresenta as principais categorias de pesticidas (Rohani, 2023). Os pesticidas podem ser classificados também de acordo com sua composição química, abrangendo grupos como organofosforados, carbamatos, organoclorados, piretrinas, ácidos benzóicos, derivados do ácido fenoxiacético e entre outros, a figura 2 mostra um esquema com as principais classes de pesticidas e a organização química.

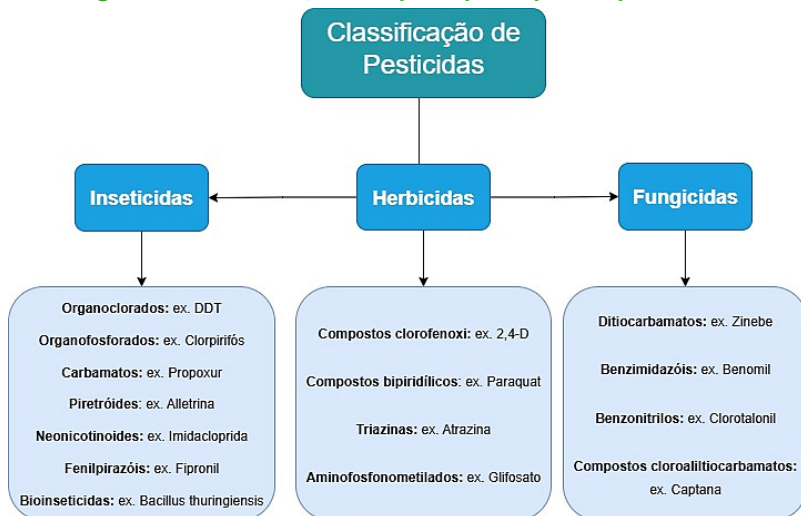
A aplicação excessiva ou inadequada de agrotóxicos favorece sua infiltração no solo (lixiviação) e o transporte superficial por águas pluviais (escoamento). Tais processos contribuem para a poluição de aquíferos subterrâneos e cursos d'água superficiais, afetando a qualidade da água potável e os ecossistemas aquáticos (Silva *et al.*, 2020). A deriva consiste no deslocamento de partículas ou gotas de pesticidas para áreas não alvas durante sua aplicação, impulsionada por fatores como vento, temperatura e umidade relativa do ar. Esse fenômeno pode causar a contaminação de áreas vizinhas, corpos hídricos, vegetação nativa e até mesmo zonas urbanas próximas às lavouras (O risco é agravado em aplicações aéreas e em condições meteorológicas inadequadas) (Carneiro, 2025).

Muitos princípios ativos presentes nos pesticidas possuem alta pressão de vapor, o que os torna suscetíveis à evaporação após a aplicação. A volatilização permite que essas substâncias se dispersem na atmosfera, podendo ser transportadas a longas distâncias e provocar a contaminação de regiões não expostas diretamente à aplicação. Também podemos relatar que o descarte inadequado de embalagens vazias, restos de caldas pesticidas e a lavagem incorreta de equipamentos agrícolas também são fontes expressivas de contaminação ambiental. A contaminação pode ocorrer tanto por infiltração no solo quanto por escoamento para corpos hídricos, especialmente quando esses resíduos são despejados em locais sem estrutura adequada (Gomes *et al.*, 2021).

Alguns pesticidas apresentam elevada persistência no ambiente, com meia-vida que pode ultrapassar meses ou anos. Essa característica favorece sua bioacumulação em organismos ao longo da cadeia trófica, causando efeitos crônicos em fauna, flora e seres humanos, mesmo quando os níveis de exposição são baixos (Fao; Who, 2022). Nesse contexto, torna-se fundamental identificar e compreender as diferentes vias pelas quais os pesticidas entram em contato com o ambiente.

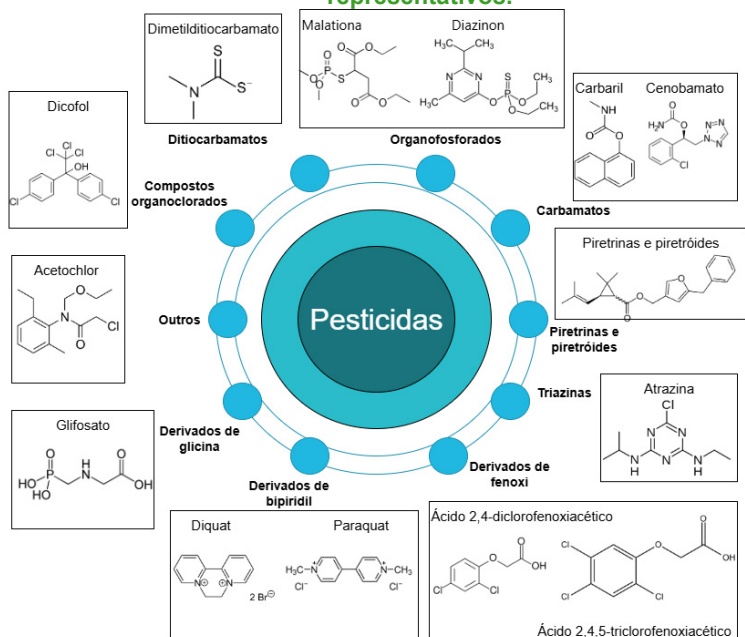
A compreensão dessas fontes é essencial para o aprimoramento das políticas públicas e da gestão ambiental voltada para o uso seguro e sustentável de agrotóxicos. Além disso, o fortalecimento da fiscalização, o incentivo ao uso de bioinsumos e o desenvolvimento de tecnologias de aplicação mais precisas são estratégias fundamentais para mitigar os impactos negativos relacionados à contaminação por pesticidas.

Figura 1 - Classificação dos principais tipos de pesticidas.



Fonte: adaptado de Gomes *et al.*, (2021).

Figura 2 - Representação esquemática das principais classes de pesticidas e das estruturas químicas de seus compostos mais representativos.



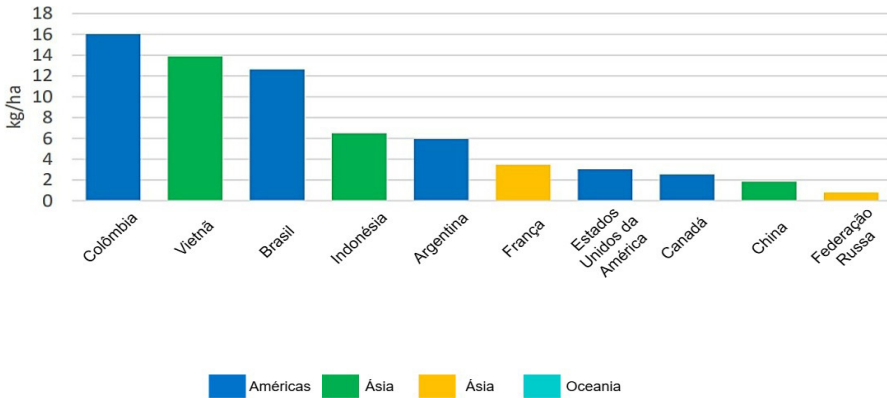
Fonte: Adaptado de Daraban; Hlihor; Suteu, (2023).

Efeito Negativo do uso dos Pesticidas

O Brasil ocupa a liderança do ranking de consumo mundial de agrotóxicos, o que parece não fazer jus à lei nº 7.802/89, regulamentada pelo decreto nº 1074/02, que dispõe sobre normas relativas à cadeia dos agrotóxicos (pesquisa, experimentação, produção, embalagem e rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, propaganda, comercial, utilização, importação, exportação, destino final dos resíduos e embalagens, registro, classificação, controle, inspeção e fiscalização (Ribeiro *et al.*, 2022). Na figura 3 é possível observar o uso de pesticidas por área de terras agrícolas nos principais usuários de pesticidas em 2022.

A projeção de que a população mundial atinja 9 bilhões de pessoas até 2050 tem gerado uma crescente demanda por alimentos e matérias-primas. Esse cenário tem estimulado o desenvolvimento de tecnologias inovadoras no setor dos recursos naturais. Os objetivos é otimizar o uso dos recursos disponíveis, promover variedades agrícolas mais produtivas e resistentes a pragas e doenças. Apesar dos avanços significativos nessas áreas, ainda não têm sido suficientes para eliminar as pragas nem controlar totalmente as doenças que afetam a produção agropecuária. Como resultado, o uso de agroquímicos continua a crescer diariamente (Ribeiro *et al.*, 2022).

Figura 3 - Uso de pesticidas por área de terras agrícolas nos principais usuários de pesticidas.



Fonte: adaptado de FAO (2024).

Influência dos Agrotóxicos no Equilíbrio Climático Global

O uso intensivo de pesticidas na agricultura moderna, embora destinado ao controle de pragas e aumento da produtividade, está diretamente implicado nos processos que contribuem para as mudanças climáticas globais. A produção, o transporte, a aplicação e a degradação desses compostos envolvem emissões significativas de gases de efeito estufa (GEE), além de promoverem a degradação de ecossistemas e a perda de serviços ambientais fundamentais ao equilíbrio climático.

A fabricação de pesticidas envolve processos industriais altamente dependentes de combustíveis fósseis, resultando na liberação de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Além disso, durante a aplicação agrícola, há emissão indireta de GEE pelo uso de máquinas agrícolas, especialmente tratores e pulverizadores movidos a diesel (IPCC, 2022).

A biodiversidade é um elemento chave para a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas. O uso indiscriminado de pesticidas reduz a diversidade biológica, especialmente de insetos polinizadores, organismos benéficos do solo e predadores naturais de pragas, afetando as cadeias tróficas e os ciclos bioquímicos essenciais para a estabilidade ambiental (Rohani, 2023). O uso desses compostos químicos também causa sérios prejuízos aos mamíferos, devido à capacidade de se acumular nos tecidos corporais, comprometendo diversas funções fisiológicas (Van Bruggen *et al.*, 2021). O desequilíbrio provocado pelos pesticidas interfere nos ciclos do nitrogênio e do fósforo, favorecendo processos como a eutrofização e a acidificação de corpos hídricos. Tais alterações resultam na liberação de gases como óxido nitroso (N_2O), um GEE com potencial 300 vezes superior ao do CO_2 (FAO, 2021). Muitos pesticidas possuem compostos orgânicos voláteis (COVs), que

ao se dispersarem na atmosfera, contribuem para a formação de ozônio troposférico (O_3), um potente gás de efeito estufa e poluente secundário (U.S. EPA, 2021). Um dos efeitos colaterais mais alarmantes do uso dos pesticidas é a morte em massa das abelhas, insetos polinizadores essenciais à manutenção da biodiversidade e à produção de alimentos. Esses polinizadores são fundamentais para a reprodução de diversas espécies vegetais e contribuem diretamente para a estabilidade dos ecossistemas e para a resiliência das mudanças climáticas. A figura 4 ilustra a dimensão da mortalidade de abelhas no Brasil atribuída ao uso de agrotóxicos, com destaque para as regiões agrícolas intensivas.

Portanto, a relação entre pesticidas e mudanças climáticas é multifacetada e preocupante. Mitigar seus efeitos exige uma transição para práticas agrícolas mais sustentáveis, como o manejo integrado de pragas (MIP), o uso de bioinsumos, o incentivo à agroecologia e a formulação de políticas públicas baseadas em ciência e regulação efetiva. Pesticidas aplicados no solo podem atingir lençóis freáticos e corpos d'água por meio de lixiviação e escoamento superficial, reduzindo a qualidade da água potável e impactando a fauna aquática. A degradação desses ecossistemas aquáticos compromete a regulação climática regional, especialmente em zonas úmidas e áreas de recarga hídrica (Silva *et al.*, 2020).

Figura 4 - Abelhas pedem socorro.



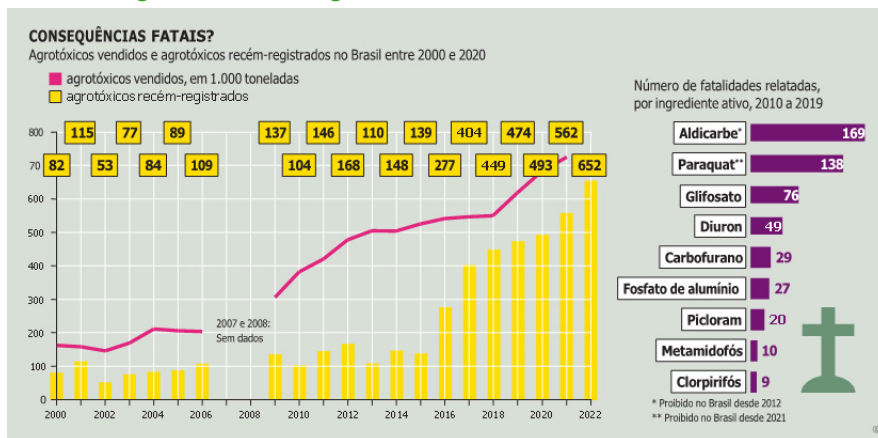
Fonte: ATLAS, D. A., (2023).

Impactos na Saúde Pública e nos Sistemas de Saúde

A exposição aos pesticidas está relacionada a uma variedade de problemas de saúde, incluindo distúrbios neurológicos, cânceres, disfunções endócrinas, intoxicações agudas e doenças respiratórias. Os pesticidas estão associados a

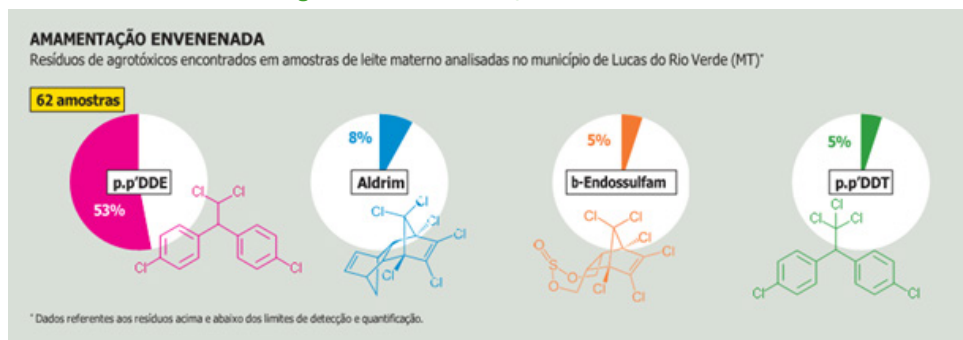
danos as principais vias moleculares essenciais para o desenvolvimento cerebral, principalmente as vias MAPK/ERK e a mGluR-LTD, responsáveis, respectivamente, pela formação e manutenção das sinapses e pela plasticidade sináptica e pela aprendizagem adaptativa. A disfunção dessas vias pode intensificar os riscos de transtornos do neurodesenvolvimento, como o Transtorno do Espectro Autista (TEA) e o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) (López-Merino *et al.*, 2023). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), ocorrem cerca de 3 milhões de casos de intoxicação aguda por agrotóxicos a cada ano, resultando em aproximadamente 220 mil mortes, principalmente em países em desenvolvimento (WHO, 2021). No Brasil, dados do Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas (Sinitox) indicam um aumento significativo nas notificações de intoxicações por agrotóxicos, gerando impacto direto no Sistema Único de Saúde (SUS) por meio do aumento da demanda por atendimentos médicos e hospitalares (De Medeiros; Acayaba; Montagner, 2021; Queiroz *et al.*, 2023). Os efeitos socioeconômicos do uso de pesticidas são distribuídos de forma desigual. Trabalhadores rurais, especialmente os que atuam na agricultura familiar e em condições precárias de trabalho, são os mais expostos aos riscos da aplicação inadequada de pesticidas, muitas vezes sem o uso correto de equipamentos de proteção individual (EPI). A exposição crônica sem acompanhamento médico adequado configura uma situação de injustiça ambiental e social, agravando as vulnerabilidades desses grupos. Os dados quantitativos reforçam a gravidade da situação. A figura 5 mostra a evolução dos agrotóxicos vendidos e recém-registrados no Brasil de 2000 a 2022, revelando uma tendência crescente e preocupante. Paralelamente, o gráfico também evidencia as consequências fatais desses produtos, com destaque para ingredientes ativos como aldicarbe e o paraquat, responsáveis por centenas de mortes entre 2010 e 2019. Esse cenário mostra o aumento do uso de pesticidas está diretamente relacionado ao agravamento de problemas de saúde pública. Contaminação por agrotóxicos não afeta apenas os trabalhadores rurais e meio ambiente, mas atinge também corpos mais vulneráveis da sociedade, como gestantes e bebês. Desde o período gestacional, tanto a mãe como o bebê podem ser afetados, uma vez que os pesticidas, especificamente os organoclorados e organofosforados, são capazes de transpor a placenta e causando prejuízos, significativos ao desenvolvimento neural do feto. (López-Merino *et al.*, 2023). A figura 6 revela a presença de resíduos de agrotóxicos em amostras de leite materno coletadas no município de Lucas do Rio Verde (MT). Esses resíduos, mesmo em níveis baixos, podem trazer consequências à saúde infantil, interferindo no desenvolvimento neurológico e hormonal. (Dong *et al.*, 2022).

Figura 5 - Uso de agrotóxicos e efeitos na saúde no Brasil.



Fonte: ATLAS, D. A. (2023).

Figura 6 - Amamentação envenenada.



Fonte: ATLAS, D. A. (2023).

Impactos dos Pesticidas no Solo e na Água

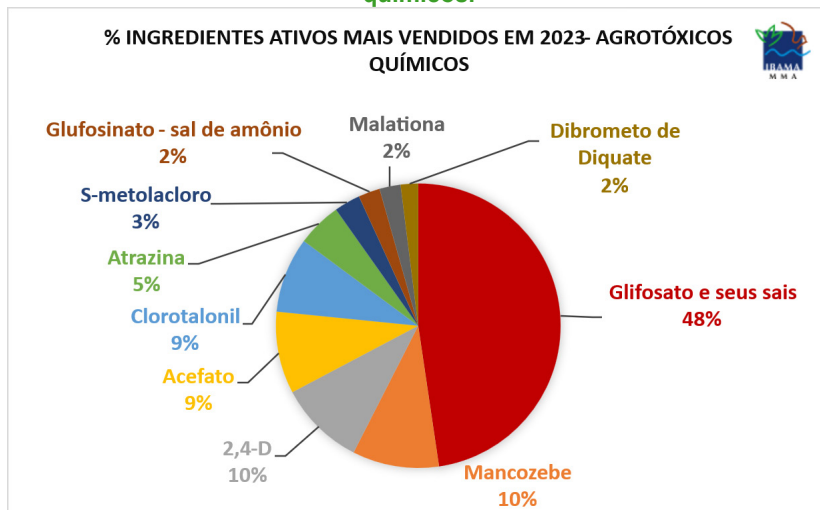
Depois das plantas, o solo é o principal receptor de agrotóxicos agrícolas. A interação pesticida-solo depende, principalmente, das características físico-químicas tanto do solo quanto do pesticida (Daraban; Hlihor; Suteu, 2023)

No que diz respeito aos organismos do solo, muitos agrotóxicos, se usados corretamente, são considerados não nocivos, mas o uso de dosagens acima do permitido, e dependendo das características físicas-químicas e biológicas do solo no qual foi depositado, pode influenciar de forma direta ou indireta na população da macro e microfauna (Queiroz *et al.*, 2023). Esse uso abusivo dos pesticidas nas culturas agrícolas tem provocado sérios impactos ambientais em solos brasileiros. A figura 7 ilustra os pesticidas ativos mais vendidos no Brasil durante o ano de 2023.

A contaminação dos recursos hídricos por pesticidas representa outro grave problema ambiental (Lima; Pignati; Pignatti, 2020; Ribeiro *et al.*, 2022) apontam que

a intensificação das monoculturas e das atividades agropecuárias tem ampliado o uso de agrotóxicos na Terra Indígena de Marãiwatsédé, foram registradas denúncias de óbitos infantis possivelmente associados à poluição da água por agrotóxicos, evidenciando o risco que essas substâncias representam para os ecossistemas. A figura 8 mostra as avaliações de risco agudo presente nas amostras analisadas, laranja e o abacaxi apresentaram o maior percentual de potencial de risco.

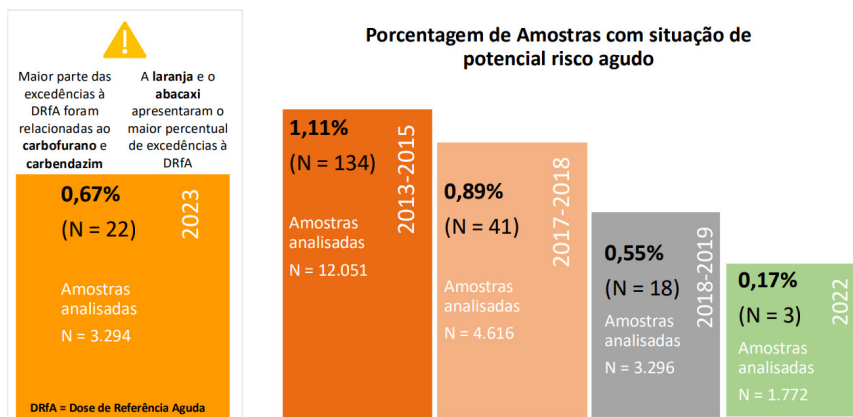
Figura 7- Ingredientes ativos mais vendidos em 2023 agrotóxicos químicos.



Fonte: IBAMA, (2023).

Figura 8 - Ingredientes ativos mais vendidos em 2023 agrotóxicos químicos.

Avaliação do Risco agudo de 2013 a 2023



Fonte: ANVISA, (2023).

Externalidades Econômicas e Custo Ambiental

Além dos custos diretos à saúde, os pesticidas geram externalidades ambientais que têm repercussões econômicas, como a degradação do solo, a contaminação da água, a redução da biodiversidade e os prejuízos à polinização — todos fatores que afetam diretamente a produtividade agrícola a longo prazo. Esses custos são raramente internalizados nas políticas públicas ou nos cálculos de custo-benefício da produção convencional, sendo arcados, em sua maioria, pela sociedade. O modelo agroindustrial dominante promove a dependência econômica dos produtores rurais em relação às grandes corporações fornecedoras de insumos químicos. O uso contínuo de pesticidas, é possível observar na Quadro 1 o uso de agrotóxico no Brasil por lavoura. O uso muitas vezes incentivado por pacotes tecnológicos vinculados à venda de sementes transgênicas, impõe altos custos de produção aos agricultores, reduzindo sua autonomia e dificultando a viabilidade econômica de práticas sustentáveis como a agroecologia (Ribeiro *et al.*, 2022)

Quadro 1 - Uso de agrotóxicos no Brasil por lavoura (2016).

Lavoura	Consumo de agrotóxicos (R\$ milhões)	Percentual (%)	Valor bruto da produção agrícola (R\$ bilhões)	Percentual (%)
Soja	18.533	56%	116,3	34%
Milho	3.460	10%	41,4	12%
Cana-de-açúcar	3.261	10%	52,8	16%
Algodão herbáceo	1.630	5%	12,2	4%
Café	832	3%	24,0	7%
Outros	5.557	17%	93,9	28%
Total	33.273	-	340,6	-

Fonte: De Moraes, 2019.

Métodos de Prevenção da Poluição por Pesticidas

Diante dos impactos ambientais e à saúde humana causados pelos pesticidas, torna-se fundamental a adoção de práticas que visem à prevenção da poluição e à redução do uso desses produtos químicos.

O manejo integrado de pragas (MIP) se apresenta como uma alternativa relevante ao adotar a combinação de diferentes estratégias de controle, biológico, físico, químico e cultural, com o objetivo de reduzir o uso excessivo de pesticidas. Essa metodologia prioriza práticas sustentáveis e alternativas no controle de pragas, promovendo a diminuição da dependência de defensivos químicos (Silva *et al.*, 2024)

A promoção de práticas de agricultura orgânica e agroecológica também representa uma estratégia eficaz para a prevenção da poluição por pesticidas. Ao eliminar ou reduzir drasticamente o uso de pesticidas sintéticos, essas práticas contribuem para a saúde do solo e a biodiversidade ao mesmo tempo em que reduzem a contaminação do meio ambiente

Programas educacionais e campanhas de conscientização desempenham um papel crucial na promoção de uso responsável de pesticidas e na adoção de práticas mais sustentáveis. A educação de agricultores, técnicos agrícolas, consumidores e o público em geral sobre os impactos ambientais dos pesticidas e sobre alternativas viáveis pode contribuir significativamente para a redução da poluição ambiental (Daufenback *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2024)

A qualificação técnica dos agricultores em práticas como o manejo integrado de pragas, a agricultura orgânica e controle biológico é fundamental para a transição rumo a sistemas de produção menos dependentes de agrotóxicos. Paralelamente, o aumento da conscientização dos consumidores quanto aos impactos ambientais da produção agrícola pode impulsionar a demanda por alimentos cultivados de forma mais sustentável, estimulando a adoção de práticas agrícolas mais responsáveis.

(Daufenback *et al.*, 2022) ressaltam a relevância da educação da sensibilização na prevenção de intoxicações causadas por agrotóxicos. Os autores defendem a implementação de programas de capacitação voltados aos trabalhadores rurais como foco de temas como o uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPIs). O manuseio seguro de pesticidas e reconhecimento precoce dos sinais de intoxicação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os pesticidas afetam organismos não-alvo, poluem solos e corpos d'água e colocam em risco a biodiversidade. Mesmo com os avanços tecnológicos no agronegócio, como o uso de biotecnologia, nanotecnologia e máquinas modernas, o controle de pragas ainda depende fortemente de agroquímicos. A intensificação agrícola tem aumentado a produtividade, mas o custo de desequilíbrios ecológicos e contaminações ambientais. Diante disso, alternativas sustentáveis, como manejo integrado de pragas (MIP), a agricultura orgânica, o controle biológico e práticas culturais sustentáveis, mostram-se essenciais para reduzir a dependência de pesticidas. A capacitação técnica de agricultores e conscientização dos consumidores também são pontos fundamentais no processo de transição, além de programas de monitoramento da exposição de trabalhadores rurais e a adoção de práticas sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ADAF. Agência De Defesa Agropecuária Do Estado Do Amazonas. **Monografias de agrotóxicos**. Manaus: ADAF, 2024. Disponível em: <https://www.adaf.am.gov.br>. Acesso em: 2 jun. 2025.

ANVISA. Agência Nacional De Vigilância Sanitária. **Avaliação do risco agudo de 2013 a 2023: porcentagem de amostras com potencial risco agudo**. Relatório técnico, Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos>. Acesso em: 2 jun. 2025.

ALI, Sajjad *et al.* **Environmental and health effects of pesticide residues.** Sustainable agriculture reviews 48: Pesticide occurrence, analysis and remediation vol. 2 analysis, p. 311-336, 2021.

BARROSO, Gabriela Madureira *et al.* **Pesticide Residue Management in Brazil: Implications for Human Health and the Environment.** Sustainability (Switzerland). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), maio 2025.

CARNEIRO, Diego D. *et al.* **Presence of Pesticide Residues in Water Resources and Fish in Brazil: Narrative Bibliographic Review.** ACS Food Science & Technology, v. 5, n. 5, p. 1785-1797, 2025.

DARABAN, Gabriel Mihăiță; HLIHOR, Raluca Maria; SUTEU, Daniela. **Pesticides vs. Biopesticides: From Pest Management to Toxicity and Impacts on the Environment and Human Health.** Toxics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , dez. 2023.

DAUFENBACK, Vanessa *et al.* **Agrotóxicos, desfechos em saúde e agroecologia no Brasil: uma revisão de escopo.** Saúde em Debate, v. 46, p. 482–500, 2022.

DE MEDEIROS, Jéssyca Ferreira; ACAYABA, Raphael D. Anna; MONTAGNER, Cassiana Carolina. **The chemistry in the human health risk assessment due pesticides exposure.** Química Nova, v. 44, 2021.

DENG, Yuanying *et al.* **Knowledge and behavior regarding pesticide use: a survey among caregivers of children aged 1–6 years from rural China.** Environmental Science and Pollution Research, v. 26, p. 23037–23043, ago. 2019.

DONG, Yihan *et al.* **Exposure patterns, chemical structural signatures, and health risks of pesticides in breast milk: A multicenter study in China.** Science of The Total Environment, v. 830, p. 154617, jul. 2022.

FAO; WHO. **Manual on development and use of FAO and WHO specifications for pesticides.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; World Health Organization, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 28 maio 2025

FERNANDES, Caroline Lopes Feijo *et al.* **Distribution of pesticides in agricultural and urban soils of Brazil: A critical review.** Environmental Science: Processes and Impacts Royal Society of Chemistry, , fev. 2020.

FUNDAÇÃO Heinrich Böll. **Atlas dos agrotóxicos: fatos e números sobre substâncias químicas na agricultura.** Brasília: Fundação Heinrich Böll Brasil, 2023. Disponível em: <https://br.boell.org/sites/default/files/2024-01/atlas-do-agrotoxico-2023-revisao2024.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2025.

GOMES, Fernanda R. *et al.* **Impactos ambientais do uso de agrotóxicos e medidas de mitigação.** Revista Brasileira de Agroecologia, v. 16, n. 1, p. 243–258, 2021.

IBAMA. Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente E Dos Recursos Naturais Renováveis –. % ingredientes ativos mais vendidos em 2023 agrotóxicos químicos [Gráfico]. In: **Boletim Anual de Comercialização de Agrotóxicos 2023**. Brasília: Ibama, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 2 jun. 2025.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Geneva: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch>. Acesso em: 28 maio 2025.

LIMA, Francco Antonio Neri de Souza e; PIGNATI, Wanderlei Antonio; PIGNATTI, Marta Gislene. **A extensão do ‘agro’ e do tóxico: saúde e ambiente na terra indígena Marãiwatsédé, Mato Grosso**. Cadernos Saúde Coletiva, v. 28, p. 1–11, mar. 2020.

LIU, Changsheng *et al.* **Soil degradation from pesticide use reduces soil carbon storage: Evidence from global meta-analysis**. Science of The Total Environment, v. 720, 137620, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137620>.

LÓPEZ-MERINO, Esperanza *et al.* **Perinatal exposure to pesticides alters synaptic plasticity signaling and induces behavioral deficits associated with neurodevelopmental disorders**. Cell Biology and Toxicology, v. 39, n. 5, p. 2089–2111, 8 out. 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Public health impact of chemicals: knowns and unknowns**. Geneva: WHO, 2021. Disponível em: <https://www.who.int>. Acesso em: 28 maio 2025

QUEIROZ, Liliana Alves Pereira *et al.* **Prognosis of the potential for surface and underground water contamination of the main pesticides sold in the Goiás State**. Águas Subterrâneas, v. 37, jan. 2023.

RIBEIRO, Luiz Augusto de Oliveira *et al.* **Overview on the use of pesticides in Brazil (2009-2019): Risks, benefits and alternatives**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 10, p. 189–203, 2022.

ROHANI, Md Fazle. **Pesticides toxicity in fish: Histopathological and hemato-biochemical aspects – A review**. Emerging ContaminantsKeAi Communications Co., , set. 2023.

SILVA, João Henrique Barbosa da *et al.* **Controle biológico de pragas: o segredo da agricultura sustentável**. Contribuciones A Las Ciencias Sociales, v. 17, p. e6367, abr. 2024.

SILVA, Rafael T. da *et al.* **Agrotóxicos e contaminação da água: uma análise crítica da situação brasileira**. Revista Ambiente & Água, v. 15, n. 6, p. 1–14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2501>.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA).

Volatile Organic Compounds (VOCs). Washington, DC: EPA, 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>. Acesso em: 28 maio 2025

VAN BRUGGEN, A. H. C. *et al.* **Indirect Effects of the Herbicide Glyphosate on Plant, Animal and Human Health Through its Effects on Microbial Communities.** *Frontiers in Environmental Science*, v. 9, 18 out. 2021.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco-FACEPE a R.M.G.S. (Processo IBPG-0603-3.06/25) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) Processo nº 312241/2022 de G.M.C.T..