

IMPACTO DOS HERBICIDAS NO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA

Sumário

Introdução	1
Impactos na saúde humana.....	2
Impactos no ambiente	2
Como reduzir o impacto de herbicidas no Brasil	4
Conclusões	5
Referências.....	5

Introdução

O uso de agrotóxicos tem sido crescente no Brasil. Os herbicidas que correspondiam em média a 60% das aplicações, em 2022 responderam por quase 92% das 800 milhões de toneladas aplicadas. No Paraná, nos últimos dois anos elevou-se em 20% a quantidade de herbicidas aplicados no campo além do aumento das doses utilizadas por hectare cultivado e quantidades de produto por receituário agrônomo. Apesar de sermos um país com elevado uso destas substâncias, podemos citar que nossa política vem avançando, como por exemplo no ano de 2018 em que o herbicida paraquat foi reavaliado e banido. Outro ponto a se considerar é que hoje usamos em média o mesmo quociente de impacto no ambiente (EQI) de antes, mesmo com mais aplicações por área e maiores produtividades obtidas incluindo os novos herbicidas lançados no mercado (CARBONARI; VELINI, 2020). Mesmo assim precisamos reduzir o uso de agrotóxicos se quisermos estar conformes com os nossos importadores de commodities em breve.

O destino do herbicida é o solo e/ou a parte aérea de plantas, podendo este ser aplicado para o controle de plantas daninhas ou na própria cultura agrícola, como por exemplo para dessecação pré-colheita ou maturação de cultivos como a cana-de-açúcar. Entretanto, na aplicação, o herbicida pode sofrer o transporte para áreas não-alvo sendo importante sua caracterização também no ar e em corpos hídricos, bem como seu impacto nos diversos organismos presentes nos ecossistemas pela persistência dos produtos. Devem ser ainda conhecidos os impactos de herbicidas em mamíferos, pois durante o preparo da calda até a aplicação não podem ocorrer erros técnicos que comprometam a saúde do aplicador e até mesmo o consumidor final principalmente quando tratamos de gêneros alimentícios.

Os herbicidas são um tipo de agrotóxico, logo devem ter sua classificação toxicológica e potencial de periculosidade ambiental determinadas de acordo com a nova Lei dos Agrotóxicos (Lei 14.785 de 27 de dezembro de 2023), que visa a um uso racional, sustentável e seguro de produtos. Os efeitos tóxicos dos herbicidas podem ser diversos tais como ação direta ao DNA celular, incorporação no DNA durante a replicação celular e interferência na divisão celular. Se esses erros ao material genético são incorporados nas células filha o processo torna-se mutagênico. Pode haver também efeitos respiratórios, problemas ligados ao sistema nervoso, digestório e reprodutor. Além disso pode ocorrer a contaminação por agrotóxicos via bioacumulação, onde o herbicida presente no ambiente entrará em contato direto com algum organismo ou fará parte de determinada cadeia alimentar, incluindo os seres humanos. Isso ocorre principalmente para produtos com elevada afinidade por óleo e logo ao tecido adiposo presente em animais.

A ANVISA classifica desde 2019 os herbicidas a partir de recomendações do Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals – GSH baseada na toxicidade aguda e crônica de cada ingrediente ativo; padrão utilizado na União Europeia, Ásia e América do Norte. A classificação varia entre a categoria 1 (extremamente tóxicos, faixa vermelha), categoria 2 (altamente tóxicos, faixa vermelha), categoria 3 (moderadamente tóxicos, faixa amarela), categoria 4 (pouco tóxico, faixa azul), categoria 5 (improváveis de causarem danos agudos, faixa azul) e produtos não-classificados (faixa verde). De acordo com cada classificação, uma série de cuidados devem ser tomadas na manipulação e aplicação de cada herbicida, por exemplo, pela obrigatoriedade de uso de diferentes equipamentos de proteção individual (EPIs).

O Ibama é o órgão responsável pela classificação de herbicidas em potenciais de periculosidade ambiental, utilizando-se testes de laboratório, semi-campo e campo, envolvendo diversas áreas e normas da ABNT, OECD e da EPA. Avalia-se para cada molécula o transporte,

persistência, bioacumulação, impacto em organismos de solo, organismos aquáticos, aves, abelhas e mamíferos. A classificação varia de produtos altamente perigosos ao meio ambiente (classe I), produtos muito perigosos ao meio ambiente (classe II), produtos perigosos ao meio ambiente (classe III) e produtos pouco perigosos ao meio ambiente (classe IV). Produtos que possuam índices não-aceitáveis de periculosidade ou que não possuam no país métodos para sua desativação ou que apresentem características mutagênicas, teratogênicas ou carcinogênicas, não são registrados. Podem ser avaliados também o risco ambiental de agrotóxicos, igual ao que ocorre especificamente para o impacto de produtos em abelhas.

Impactos na saúde humana

Os herbicidas podem impactar desde o trabalhador rural, que está diretamente envolvido com a manipulação e/ou a aplicação dos produtos, bem como a população rural e/ou urbana. Nestes dois últimos casos a população rural acaba sendo exposta a herbicidas ou seus resíduos principalmente por problemas ligados a falhas na tecnologia de aplicação. Já a população urbana principalmente devido a exposição aos resíduos em alimentos. Os prejuízos causados vão desde problemas médicos como câncer, efeitos neurotóxicos, problemas na saúde reprodutiva e interrupção do sistema endócrino.

Para que não haja efeito tóxico de produtos nos alimentos, as aplicações dos herbicidas devem apresentar um intervalo de segurança entre a aplicação e a entrada de animais na área ou então da aplicação e a colheita de gêneros alimentícios. Este tempo é o necessário para que o resíduo do agrotóxico fique abaixo Limite Máximo de Resíduos (LMR). Estes resíduos são calculados durante o registro de um produto como parte das exigências feitas pelo MAPA. Ademais a aplicação do herbicida deve ocorrer dentro das doses estabelecidas em bulas e apenas para produtos registrados para aquela espécie.

Os limites máximos de resíduos de tempos em tempos são analisados ao acaso em amostras de alimentos no Brasil pelo Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxico em Alimentos (PARA) sob responsabilidade da ANVISA. Nele são analisados o risco agudo, causado pelos danos à saúde gerados do consumo de grande porção de alimento em curto espaço de tempo e o crônico, dado pela possibilidade de danos à saúde pelo consumo de alimentos por toda a vida. O risco agudo é baseado na ingestão diária aceitável de cada alimento e o crônico com base no padrão de consumo brasileiro, estabelecido pelo IBGE. O último relatório publicado em 2023 que traz resultados de 5.068 amostras coletadas nos anos entre 2018/20219 e 2022, mostra que o risco agudo foi identificado em média de 0,36% das amostras e o crônico em nenhuma. Estas amostras podem ser rastreadas para o distribuidor e algumas vezes até o produtor rural. Nestes programas a maior parte das detecções ocorre para inseticidas e fungicidas, sendo menos comum a presença de herbicidas devido a sua modalidade de aplicação que é predominantemente feita previamente ou logo no início do estabelecimento dos cultivos.

Um dos herbicidas mais frequentemente encontrados nos alimentos é o herbicida glifosato. O herbicida possui registro no Brasil, mas muitos dos problemas de contaminação decorrem do seu uso proibido na dessecação de cultivos, como por exemplo, do trigo, sendo depois é encontrado na farinha e nos seus subprodutos. O glifosato frequentemente é exposto a discussões sobre seu potencial ou não de causar danos a saúde humana. Tal fato decorre pela classificação da molécula como “provavelmente cancerígeno” pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer enquanto a OMS o classifica como improvável carcinógeno. Em 2018 a ANVISA publicou nota técnica (Nº23/2018) concluindo que o glifosato não apresenta características mutagênicas, teratogênicas e carcinogênicas. Outro problema que ocorre no Brasil é o uso de herbicidas em cultivos em que este não está registrado, como por exemplo o linuron e o diuron. Tal fato decorre pela falta de produtos para determinados cultivos agrícolas, o que em partes tem sido tratado pelas políticas envolvendo as culturas com suporte fitossanitário insuficiente.

Impactos no ambiente

Conforme anteriormente citado, cabe ao Ibama a avaliação do potencial de periculosidade ambiental de um herbicida. O Ibama avalia nestes casos processos de transporte (solubilidade em água, lixiviação, adsorção/dessorção em solos), de persistência (hidrólise e fotólise em água,

biodegradabilidade aeróbia no solo e tempo de meia-vida), a bioacumulação, impacto em organismos não-alvos (microrganismos do solo, minhocas, organismos aquáticos, algas, peixes, aves, abelhas) e impacto em mamíferos (ratos).

A maior parte dos herbicidas quando aplicados acabam entrando em contato com o solo da lavoura local e uma parte pode alcançar outras áreas como corpos hídricos, lavouras e cidades seja pela deriva, movimentação lateral ou lixiviação. É frequente também a contaminação de corpos hídricos pelo lançamento de restos de calda nas águas, lavagens de equipamentos próximos à águas e aplicação intencional para controle de plantas aquáticas. Conseqüentemente as moléculas e seus adjuvantes irão interagir com microrganismos ou outros animais como minhocas, ácaros, nematoides, besouros, girinos, peixes dentre tantos outros, incluindo outras plantas. No solo esta fauna é muito importante para a ciclagem da água e do carbono, degradação da matéria orgânica e disponibilização de nutrientes, descompactação de solos e inclusive a diminuição do banco de sementes de plantas daninhas. Na água pela manutenção da cadeia alimentar e muitas vezes para a alimentação humana.

A meso e macrofauna do solo tem tido resultados variáveis nos estudos conduzidos. Isso porque a resposta destes animais irá depender de muitas questões que não apenas o uso do herbicida principalmente das espécies presentes e das condições edafoclimáticas. Alguns trabalhos relatam por exemplo a letalidade da atrazina a colêmbolos enquanto do glifosato não. Para o paraquat, herbicida hoje banido, estudos mostram que o mesmo poderia gerar a bioacumulação e alterações fisiológicas em minhocas. Um ponto interessante é que para registro no Brasil, apenas as minhocas são avaliadas e pela sua mortalidade, enquanto na Europa este teste já não é mais utilizado pois prova-se não suficiente para caracterização do efeito em organismos não-alvo.

Para microrganismos o herbicida pode servir como fonte de energia fornecendo carbono para seu metabolismo já que grande parte da degradação de moléculas é realizada desta maneira. Por outro lado, podem afetar negativamente a evolução de determinados grupos. Com isso o herbicida pode reduzir a oxidação de matéria orgânica a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia em um solo. Alguns trabalhos mais recentes vêm discutindo o potencial por exemplo de herbicidas reduzirem as micorrizas no solo e a fixação de nitrogênio e o aproveitamento de fósforo por exemplo na soja. A planta neste caso estaria menos tolerante a situações de estresse ambiental.

Ademais a aplicação de herbicidas pode afetar a diversidade e seleção de microrganismos principalmente pela repetição de uso de uma molécula que por selecionar determinados grupos poderá ter maior velocidade de degradação no solo e caso seja um herbicida pré-emergente, menor residual. Por outro lado, um solo com menor degradação de uma molécula pode apresentar efeitos fitotóxicos a uma próxima lavoura semeada (efeito conhecido como *carryover*). A linha entre os efeitos positivos e negativos em cada organismo é muito tênue e tem sido mais bem explorada. O uso da metagenômica de microrganismos tem favorecido estudos deste tipo em que os microrganismos presentes podem ser quantificados e divididos de acordo com suas funções biológicas. Neste sentido existe muito ainda a ser investigado, por exemplo o efeito de misturas de agrotóxicos na disponibilidade de produtos a exemplo do glifosato que em mistura com o S-metolacloprodo pode reduzir o residual deste último pela mineralização do produto causada pelo aumento na atividade de microrganismos (AVILA et al., 2023).

Na água a disponibilidade dos herbicidas estará relacionada a fatores edáficos como a drenagem e temperatura de um solo, atividade microbiana e das características dos herbicidas como solubilidade, sorção e estabilidade. No escoamento superficial o tempo de meia vida, Koc e solubilidade são em geral considerados na classificação potencial. Para lixiviação, é comum o cálculo do índice GUS (Groundwater Ubiquity Score) que leva em consideração o tempo de meia vida e o Koc. O herbicida paraquat por exemplo é uma molécula não móvel enquanto a atrazina é altamente lixiviável.

No Brasil, a aplicação para plantas daninhas aquáticas não é realizada. No exterior, estão registradas mais de 14 moléculas incluindo o 2,4-D. Nestes casos as preocupações estão relacionadas a decomposição da matéria orgânica das espécies controladas e da contaminação da água usada no abastecimento público. Os limites de resíduos em água são dados pela resolução 357/2005 do Conama e para algumas moléculas existem valores discrepantes dos limites máximos permitidos por exemplo na água para consumo humano frente aos limites europeus e americanos. O glifosato por exemplo, é permitido em até 500 microgramas por litro no Brasil. Nos Estados

Unidos, este valor é de 700 e na União Europeia de 0,1. No Paraná em análise Estadual realizada até 2023, os herbicidas encontrados estavam todos abaixo dos limites estabelecidos. O controle destas espécies no Brasil necessita de maiores estudos pois frequentemente a eutrofização de rios e lagos eleva a quantidade de plantas no corpo hídrico prejudicando à qualidade e manutenção da vida na água.

Sem contar o solo e água, organismos não-alvo também podem ser afetados por fatores incorretos da aplicação, como é o caso de agentes polinizadores, de inimigos naturais e de outros vegetais. O impacto de agrotóxicos em abelhas começou a ser analisado no Brasil a partir da Instrução Normativa 02/2017. Para herbicidas em geral existem muitos poucos estudos, tendo trabalhos que relatam a presença do glifosato em méis e alguns relatos do efeito do herbicida glifosato e 2,4-D quanto a orientação das abelhas na localização da colmeia. A maioria dos trabalhos mostra ausência de mortalidade de abelhas quando expostas aos herbicidas, mesmo que em contato direto durante a aplicação, e com menor impacto da alimentação destas em flores que recebem herbicidas.

Quanto aos inimigos naturais temos duas linhas de raciocínio. Uma a de que sem plantas daninhas podemos diminuir a presença de determinadas espécies importante para o controle de pragas. De fato, alguns países e áreas de produção tem adotado faixas de preservação da biodiversidade com a intenção de manter estas populações. Por outro lado, temos o impacto direto dos produtos nos seres vivos, onde alguns herbicidas como o glifosato podem reduzir em até 80% a taxa de parasitismo de espécies de tricograma. Da mesma maneira que comentamos sobre as especificidades de produtos e espécies para microrganismos podemos relatar o fato para estes artrópodes. Mais estudos precisam ser realizados neste sentido.

Não menos importante está a movimentação e impacto de herbicidas em plantas não-alvo, resultante de processos majoritários de deriva e volatilização. Na deriva as moléculas são levadas para fora da área de aplicação através da movimentação junto ao vento, seja por problemas de aplicação, seja por problemas ligados as condições ambientais. Na volatilização, o herbicida com elevada pressão de vapor poderá evaporar a superfície e com isso sofrer a movimentação durante ou após a aplicação (deriva secundária). Alguns grupos de herbicidas têm tido relevância nestes processos, que são os herbicidas mimetizadores de auxinas, em particular o 2,4-D e o dicamba. Isso decorre das características próprias das moléculas, mas também, do potencial deste em causarem danos visuais e bioquímicos em plantas, mesmo sob baixas concentrações. Algumas cidades por exemplo Marialva no Paraná tornaram proibido o uso destes herbicidas. O mesmo tem acontecido em estados inteiros nos Estados Unidos onde o grande problema decorreu da liberação de uma tecnologia de soja tolerante ao dicamba (Xtend). No Brasil, existe liberação para plantio comercial desta soja, entretanto a aplicação pós-emergente do herbicida não está em bula. A deriva também pode atingir espécies nativas em áreas de reflorestamento ou próximas à áreas de proteção ambiental.

Como reduzir o impacto de herbicidas no Brasil

Existem diversas ações que podem ser tomadas para reduzir o potencial e a contaminação do ambiente e os impactos à saúde humana pela aplicação de agrotóxicos, incluindo-se herbicidas. No Brasil, até 2026, mas com provável prorrogação, todos os aplicadores de agrotóxicos deverão fazer um treinamento (Programa aplicador legal) e possuir uma espécie de carteirinha que comprove que este conheça os princípios norteadores de boas práticas de pulverização, processo similar ao que ocorre na União Europeia. Este programa terá o desafio de colocar os aplicadores para operar equipamentos que em sua maioria apresentam falhas de funcionamento ou padrões inadequados de uso.

Outra via de cautela é a escolha ou registro de produtos menos tóxicos a saúde humana e ambiental. Isso pode ser realizado de maneira educativa junto a programas de extensão como os realizados pelo SENAR ou via incentivos fiscais/legislações. Neste caso um grande desafio se faz na transmissão da mensagem e adequação de tecnologia tanto para pequenos para grandes produtores. Exemplo disso se faz presente nos programas de instrução de uso de equipamentos de proteção individuais, que ainda precisa evoluir e nos programas modelos que possuímos no Brasil da lavagem e recolhimento de embalagens de agrotóxicos, dando o correto destino a resíduos de produtos.

Por fim, a adoção de sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis, se faz necessária. São exemplos o uso de sistemas integrados de produção agropecuária, a rotação de culturas com cobertura do solo e a adoção de práticas conservacionistas de produção como o próprio plantio direto, aumentando a diversidade biológica ambiental, elevando a degradação de produtos e diminuindo as contaminações ambientais. O controle de pragas em programas de manejo integrado ainda irá reduzir as populações de pragas a serem controladas, diminuindo o uso de produtos e aumentando a rentabilidade ao agricultor, que necessitará de menos aplicações e doses a serem usadas.

Conclusões

Possuímos um longo caminho relacionado ao uso de herbicidas no Brasil. Estamos em guerra contra plantas daninhas resistentes e elevando a quantidade e diversidade de herbicidas e métodos de controle utilizados. Precisamos analisar os impactos destas medidas na qualidade ambiental além da produtividade agrícola de safras individuais. Precisamos buscar sistemas mais sustentáveis de produção agropecuária que sejam socialmente mais justos, ambientalmente mais seguros e economicamente mais viáveis.

Referências

AVILA, L.A. et al. Mineralization of S-metolachlor in soil as affected by moisture content, application history, and association with glyphosate. *Advances in Weed Science*, 2023.

BRASIL. Lei 14.785 de 27 de dezembro de 2023, que dispõe sobre a pesquisa experimental produção e outros processos ligados ao uso de agrotóxicos e afins.

BRASIL. Nota Técnica N°23/2018 – ANVISA. Conclusões de reavaliação do glifosato.

BRASIL. Resolução Conama 357/205. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento.

Carbonari, C.A.; VELINI, E.D. Risk assessment of herbicides compared to other pesticides in Brazil. *Advances in Weed Science*, 2020.

Mendes, K. F. et al. **Herbicidas no ambiente: Impacto e detecção**. 1ed. Editora UFV, 2022.