



Avaliação de risco à saúde dos agrotóxicos autorizados no Brasil entre 2020 e 2023

Health risk assessment of the approved pesticides in Brazil between 2020 and 2023

Taciane de Oliveira Gomes de Assunção¹, Nycolle Matos Ribeiro¹, Manuela Bruno Pinto¹,
 Renata de Oliveira Pereira¹

RESUMO

O uso de agrotóxicos no Brasil é expressivo, tendo aumentado nos últimos anos. Tal fato revela um cenário de alerta quanto aos riscos à saúde humana. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar os ingredientes ativos de agrotóxicos autorizados para uso no país entre 2020 e 2023, a fim de selecionar aqueles com maior potencial de gerar riscos à saúde humana, sobretudo a partir da contaminação de mananciais de abastecimento. Para isto, a metodologia baseou-se nos dados de uso autorizado de agrotóxicos no Brasil pela ANVISA, seguido por avaliação do potencial carcinogênico dos agrotóxicos, propriedades relacionadas à dinâmica ambiental dos mesmos e também avaliação de risco considerando a combinação de exposição e toxicidade. Com isso, inicialmente selecionaram-se 42 agrotóxicos, os quais foram autorizados durante o período analisado. Quanto à carcinogenicidade, segundo dados da USEPA, seis agrotóxicos apresentaram evidências que sugerem potencial carcinogênico e dois foram classificados como possivelmente carcinogênicos. A partir da análise da dinâmica ambiental dos 42 agrotóxicos selecionados, excluíram-se sete desses com base nos critérios de avaliação, considerando o baixo risco de contaminação de mananciais superficiais e subterrâneos. Em seguida, a avaliação de risco baseada no binômio de exposição versus toxicidade evidenciou os herbicidas piroxassulfona e metamifop. A piroxassulfona, autorizada em 2020, apresentou valores de vendas crescentes no país, com destaque de vendas no estado de São Paulo, enquanto o metamifop foi autorizado em 2022 e foi amplamente comercializado no Rio Grande do Sul em 2023.

Palavras-chave: Carcinogenicidade; Comercialização; Exposição; Pesticidas.

ABSTRACT

The use of pesticides in Brazil is significant and has increased in recent years. This fact highlights a concerning scenario regarding risks to human health. In this context, the aim of this study was to investigate the active ingredients of pesticides authorized for use in the country between 2020 and 2023, in order to select those with the greatest potential to pose risks to human health, particularly due to contamination of water supply sources. To achieve this, the methodology was based on data from pesticides authorized for use in Brazil by ANVISA, followed by an assessment of their carcinogenic potential, properties related to their environmental fate, and a risk assessment considering the combination of exposure and toxicity. As a result, 42 pesticides authorized during the selected period were chosen initially. Regarding carcinogenicity, according to USEPA data, six pesticides showed evidence suggesting carcinogenic potential, and two were classified as possibly carcinogenic. Based on the analysis of the environmental fate of the 42 selected pesticides, seven were excluded due to the evaluation criteria, considering their low risk of contaminating surface and groundwater sources. Subsequently, the risk assessment based on the exposure-toxicity binomial highlighted the herbicides pyroxsulfone and metamifop. Pyroxsulfone, authorized in 2020, showed increasing sales in the country, particularly in the state of São Paulo, while metamifop was authorized in 2022 and was widely marketed in Rio Grande do Sul in 2023.

Keywords: Carcinogenicity; Exposure; Pesticides; Sales.

¹ Universidade Federal de Juiz de Fora;

Autor correspondente: taciane.o.g.assuncao@gmail.com

Recebido em: 23/06/2025. Aceito em: 27/04/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

1 INTRODUÇÃO

Agrotóxicos são substâncias ou agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso em setores de produção, armazenamento e processamento de produtos agrícolas, em pastagens, na proteção de florestas e em outros ecossistemas, assim como em ambientes urbanos, aquáticos e industriais, objetivando modificar a composição da flora ou da fauna para protegê-las da ação prejudicial de organismos considerados nocivos (Brasil, 2023a). Dentro do contexto de agrotóxicos aparecem algumas terminologias que necessitam ser entendidas, tais como agente microbiológico, semioquímico, produto técnico, produto formulado, ingrediente ativo e adjuvante.

Os agentes microbiológicos são uma categoria de produtos que utilizam microrganismos (como bactérias, fungos e vírus) para o controle de doenças e pragas que prejudicam a agricultura, oferecendo uma alternativa sustentável à redução do uso de pesticidas químicos (ANVISA, 2023; Gadini, 2024). Já os semioquímicos são compostos químicos capazes de induzir respostas comportamentais ou fisiológicas em organismos receptores, utilizadas para detectar, monitorar e controlar populações ou atividades biológicas. Podem ser classificados como feromônios (ação intraespecífica) ou aleloquímicos (ação interespecífica) (Brasil, 2006).

Os produtos técnicos são aqueles obtidos diretamente de matérias-primas destinado à obtenção de produtos formulados ou de pré-misturas, cuja composição contém teor definido de ingrediente ativo e de impurezas, podendo conter estabilizantes e produtos relacionados (Brasil, 2023a). Desse modo, essas substâncias químicas são caracterizadas por uma elevada pureza e alta concentração do ingrediente ativo, sendo utilizadas como componentes na fabricação dos produtos formulados e não são disponibilizadas para compra pelos agricultores (Brasil, 2023b). Os produtos formulados, por sua vez, são os agrotóxicos que estarão efetivamente acessíveis para os agricultores utilizarem (Brasil, 2023b) e devem ser registrados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) quando forem destinados ao uso agrícola (Brasil, 2012).

O ingrediente ativo (IA) é a substância biologicamente ativa no produto formulado, sendo o componente responsável pelo efeito desejado no mesmo (Ward, 2023). Os adjuvantes agrícolas são substâncias adicionadas a uma formulação de agrotóxico ou ao tanque de pulverização para auxiliar ou modificar a ação de um agroquímico ou as propriedades físicas da mistura (Pacanoski, 2015). Eles são frequentemente utilizados na agricultura para melhorar a eficácia de agrotóxicos, melhorar a fixação na superfície das plantas e aumentar a probabilidade de que o controle de pragas seja bem-sucedido (Holka, 2023).

A utilização de agrotóxicos contribui para a expansão e o desenvolvimento da agricultura brasileira (Mancuso; Negrisoni; Perim, 2011), influenciando a economia do país. O Brasil é um dos maiores consumidores e importadores de agrotóxicos do mundo (Pelaez *et al.*, 2016), com um consumo crescente dessas substâncias nos últimos anos (FAO, 2024; IBAMA, 2025). Esse aumento do volume de agrotóxicos consumidos no Brasil está diretamente relacionado à expansão das áreas cultivadas com soja, cana-de-açúcar, milho e algodão, que juntos demandam 83% dos agrotóxicos comercializados no país (Fundação Heinrich Böll, 2023). Além disso, muitos dos agrotóxicos usados no Brasil são considerados perigosos, sendo proibidos na União Europeia devido aos seus efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente (Carneiro *et al.*, 2015).

Em relação aos danos ambientais da utilização de agrotóxicos, destaca-se que a contaminação das águas subterrâneas e superficiais é um problema significativo, ocorrendo na maioria das vezes por lixiviação e escoamento superficial, respectivamente (Rebelo; Caldas, 2014). Nas águas superficiais, a contaminação pode atingir rios, lagos e reservatórios, através do transporte de agrotóxicos dissolvidos na água e adsorvidos ao sedimento (Martini *et al.*, 2012). Ademais, as imediações de regiões agrícolas, onde ocorre a pulverização de agrotóxicos em plantações, representam uma potencial fonte de contaminação do ar e do solo, devido ao potencial de volatilização e adsorção dessas substâncias (Fonseca *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2017).

A dinâmica ambiental dos agrotóxicos pode variar de acordo com suas propriedades físico-químicas, como solubilidade em água, pressão de vapor, coeficientes de distribuição entre fases e compartimentos, e tempo de meia-vida nas diferentes matrizes ambientais (Spadotto *et al.*, 2004). Desse modo, os agrotóxicos podem se mover para fora das áreas cultivadas, sendo levados até os mananciais de abastecimento (Motta; Leite; Pereira, 2022), podendo provocar prejuízos à saúde humana (Zhou; Li; Achal, 2025).

A exposição a esses compostos pode causar alterações hormonais (Picolli *et al.*, 2016) e problemas reprodutivos, como efeitos antiandrogênicos em homens e estrogênicos em mulheres (Freire *et al.*, 2014). Agrotóxicos estão associados a diversas condições crônicas (Mostafalou; Abdollahi, 2013), incluindo malformações congênitas, nascimentos prematuros, e problemas neurológicos como a doença de Alzheimer e diabetes (Ahmed *et al.*, 2017; Mehrpour *et al.*, 2014), além do risco de desenvolvimento de vários tipos de câncer (Zhou; Li; Achal, 2025).

A Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, regulamenta o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano no Brasil (Brasil, 2021a), estabelecendo diversos parâmetros e procedimentos para assegurar a potabilidade da água. De acordo com essa norma, há 54 agrotóxicos e seus metabólitos, discriminados em 40 parâmetros, que possuem valores máximos permitidos (VMPs) na água destinada ao consumo humano no país (Brasil, 2021a).

O Decreto nº 10.833, de 7 de outubro de 2021, menciona a necessidade de atualização e autorização de novos IAs de agrotóxicos em diversos contextos, estabelecendo prazos e procedimentos específicos para a análise de processos de registro e priorização de produtos (Brasil, 2021b). Além disso, define responsabilidades e critérios de segurança, destacando a estrutura e as responsabilidades para a atualização e autorização de novos agrotóxicos, enfatizando a necessidade de procedimentos rigorosos para garantir a segurança e a eficácia desses produtos (Brasil, 2021b).

Diante do contexto apresentado, o presente trabalho tem como objetivo selecionar os ingredientes ativos de agrotóxicos autorizados para uso no Brasil no período de 2020 a 2023 com maior potencial de contaminação de mananciais de abastecimento e maior risco à saúde humana via água de consumo humano no Brasil.

2 METODOLOGIA

2.1 AGROTÓXICOS AUTORIZADOS PARA USO NO BRASIL ENTRE 2020 E 2023

Foi realizado um estudo sobre os compostos autorizados, proibidos e enquadrados em outras classes entre os anos de 2012 e 2023 de acordo com a ANVISA (2025). Dentre

esses, os compostos autorizados nos anos de 2018 e 2019 já foram estudados (Assunção *et al.*, 2020). Portanto, para este estudo, foram selecionados os IAs autorizados entre os anos de 2020 e 2023, que foram discriminados em classes, de acordo com a ANVISA (2025), de forma a verificar as de maior ocorrência.

2.2 POTENCIAL CARCINOGÊNICO DOS AGROTÓXICOS

Os compostos carcinogênicos possuem uma peculiaridade, pois não possuem um limiar considerado seguro frente a uma exposição (WHO, 2022; Schlinker, 2022). Portanto, foi feito um levantamento sobre a carcinogenicidade dos compostos analisados na USEPA (2023) e na IARC (2024). Tais agências possuem classificações distintas, a IARC (2024) possui cinco classificações que podem ser atribuídas aos compostos carcinogênicos avaliados (grupo 1, 2A, 2B, 3 e 4). Já a USEPA (2023) possui quatro diretrizes para analisar o potencial carcinogênico a depender de quando a substância foi avaliada, sendo as classificações de 1986, 1996, 1999 e 2005, variando desde carcinogênico a provável não carcinogênico para humanos. Maior detalhamento sobre a classificação do potencial carcinogênico realizado pela IARC e pela USEPA pode ser encontrado no trabalho de Catão, Assunção e Pereira (2023).

2.3 DINÂMICA AMBIENTAL DOS AGROTÓXICOS

O foco deste estudo foi a exposição via ingestão de água, sendo assim, buscou-se selecionar os compostos com maior probabilidade de serem encontrados em mananciais de abastecimento para consumo humano. Para tal, sete critérios de exclusão de compostos com baixa probabilidade de ocorrência em mananciais foram adotados com base na dinâmica ambiental dos mesmos. Os critérios de exclusão foram utilizados conforme descrito em Assunção e Pereira (2024) e estão elencados no Quadro 1.

Os IAs de agrotóxicos que não foram excluídos por nenhum dos critérios possuem maior potencial de serem detectados na água. Quando um composto foi excluído por um dos critérios, ele não foi analisado segundo o critério seguinte (Assunção; Pereira, 2024). Nos casos em que não se encontrou um valor primário para aplicar os critérios de dinâmica ambiental, o princípio ativo foi mantido, priorizando a cautela em relação ao seu comportamento no meio ambiente.

Para a análise da dinâmica ambiental e aplicação dos critérios de exclusão foram utilizados parâmetros específicos, sendo esses: tempo de meia-vida (DT50) em água, solo e devido à hidrólise; coeficiente de adsorção ao carbono orgânico do solo (Koc); constante de Henry adimensional (KH'); coeficiente de partição octanol/água (Kow); e relação KH'/Kow. Além disso, a probabilidade de contaminação das águas superficiais e subterrâneas foi determinada através dos índices GOSS (Goss, 1992) e GUS (Gustafson, 1989), respectivamente. Os dados primários para esses parâmetros foram obtidos da base de dados *Pesticide Properties Database* (IUPAC, 2025).

Quadro 1. Critérios de avaliação do potencial de contaminação de agrotóxicos em águas.

Número	Critério de Exclusão	Interpretação
1	DT50 água < 1 d	Indica elevado potencial de degradação em água
2	Koc > 4000 mL/g e DT50 solo ≤ 30 d	Indica que o composto é imóvel no solo e possui potencial de se degradar no mesmo.
3	500 mL/g < Koc ≤ 4000 mL/g e DT50 solo ≤ 10 d	Indica elevado potencial de adsorção ao solo e baixo DT50 no solo.
4	Koc ≤ 75 mL/g e DT50 água ou DT50 hidrólise ≤ 10 d	Indica baixo potencial de adsorção ao solo e baixo DT50 na água.
5	75 mL/g < Koc ≤ 500 mL/g e DT50 água ou DT50 hidrólise ≤ 10 d e DT50 solo ≤ 10 d	Indica potencial intermediário de adsorção ao solo e baixo DT50, tanto na água quanto no solo.
6	$KH' > 10^{-4}$ e $KH'/Kow > 10^{-9}$	Indicam baixa probabilidade de um composto ser encontrado na água devido à elevada volatilidade.
7	Índice de GOSS dissolvido em água e GUS baixos e GOSS associado ao solo e sedimento baixo ou médio	Indicam baixo potencial de lixiviação (GUS), baixo potencial de transporte devido à dissolução na água (GOSS) e baixo ou médio potencial de transporte associado ao sedimento (GOSS).

Fonte: Assunção e Pereira (2024). Legenda: DT50: tempo de meia vida em água, em solo e devido à hidrólise; Koc: coeficiente de adsorção ao carbono orgânico do solo; KH': constante de Henry adimensional, calculada conforme Metcalf e Eddy (2016); Kow: coeficiente de partição octanol/água; índices de GOSS (Goss, 1992) e GUS (Gustafson, 1989).

2.4 AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

Para avaliar os compostos que possuem um maior risco via água de consumo humano no Brasil, dentre os compostos selecionados pelas etapas anteriores, foi utilizada uma matriz semiquantitativa de risco químico. Essa matriz considera duas variáveis: (i) intensidade de comercialização de agrotóxicos, representando o potencial de exposição; e (ii) ingestão diária tolerável (IDT), representando a toxicidade do composto (Assunção; Pereira, 2024).

Para a variável intensidade de comercialização, foram calculadas médias anuais do total comercializado no Brasil entre 2020 e 2023, considerando os anos em que os agrotóxicos tiveram vendas reportadas nos relatórios de comercialização disponibilizados pelo Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (IBAMA, 2025).

Para os valores de IDT, foram considerados os menores valores estabelecidos para cada agrotóxico por órgãos internacionais e/ou por normas e diretrizes de qualidade da água para consumo humano, desde que fundamentados em estudos toxicológicos de exposição crônica. As fontes consultadas incluem: ANVISA (2025), Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2022) e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2018, 2025), bem como normas e documentos da Nova Zelândia (Ministry of Health, 2019; New Zealand, 2022), Austrália (APVMA, 2025; NHMRC/NRMMC, 2024), Canadá (Health Canada, 2025), *Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues* (JMPR, 2025) e União Europeia (European Commission, 2025).

Para a elaboração das faixas de pontuação de comercialização da matriz de risco, foram considerados os dados de comercialização dos IAs de agrotóxicos com vendas reportadas entre 2009 e 2023 (IBAMA, 2025), excluindo-se aqueles compostos classificados como adjuvantes, inorgânicos, agentes microbiológicos de controle, hormônios vegetais, feromônios sintéticos e aqueles que possuíram vendas nulas no período avaliado. Foram calculadas médias anuais para o Brasil, para os IAs selecionados, e esses valores foram divididos em quartis, utilizando-se os percentis 25, 50, 75 e 100 como limites entre cada uma das quatro classes (Bastos *et al.*, 2020), assim as classes foram divididas em: (i) de zero ao percentil 25; (ii) do percentil 25 ao percentil 50; (iii) do percentil 50 ao percentil 75; e (iv) do percentil 75 ao percentil 100. Destaca-se que as vendas nulas não foram consideradas para a definição dos percentis de comercialização.

Para a variável IDT, foram adotadas as faixas de valores reportadas por Assunção e Pereira (2024), que considerou 195 IAs para sua elaboração e levou em consideração os mesmos órgãos internacionais e normas/diretrizes de qualidade da água para consumo humano dos países consultados neste trabalho. Além disso, cada classe de comercialização e IDT recebeu uma pontuação de 1 a 4. De modo que quanto maior a comercialização maior a pontuação, indicando um risco maior em termos de exposição. Por outro lado, para a IDT, quanto maior o seu valor menor a pontuação, indicando um risco menor em termos de toxicidade (Bastos *et al.*, 2020).

Definida a pontuação para cada uma das variáveis foi realizado o produto entre a pontuação atribuída para exposição e toxicidade, onde o resultado foi classificado de acordo com a matriz semiquantitativa apresentada no Quadro 2. Os agrotóxicos foram ranqueados conforme pontuação obtida e aqueles compostos que obtiveram risco médio - alto e alto, ou seja, valor igual ou superior a oito foram os selecionados como prioritários na água de consumo humano no Brasil com base no cenário de estudo.

Quadro 2. Matriz semiquantitativa de risco químico.

Toxicidade	Comercialização			
	1	2	3	4
1	1 (Baixo)	2 (Baixo)	3 (Baixo)	4 (Baixo - Médio)
2	2 (Baixo)	4 (Baixo)	6 (Baixo - Médio)	8 (Médio - Alto)
3	3 (Baixo)	6 (Baixo - Médio)	9 (Médio - Alto)	12 (Alto)
4	4 (Baixo - Médio)	8 (Médio - Alto)	12 (Alto)	16 (Alto)

Fonte: Bastos *et al.* (2020).

Os agrotóxicos avaliados neste trabalho não estão presentes na norma de qualidade da água para consumo humano do Brasil (Brasil, 2021a). Portanto, para os compostos selecionados na matriz semiquantitativa de risco com pontuação igual ou superior a oito, foi efetuado o cálculo de um possível valor normativo em nível nacional com base na Equação 1, voltada para compostos não carcinogênicos (Brasil, 2024; WHO, 2022). Para o cálculo do VMP proposto, foi utilizado um fator de alocação de 10% da IDT, 2 L de consumo diário de água e peso médio de 60 kg, seguindo o cálculo dos VMPs que estão no padrão de potabilidade brasileiro (Brasil, 2024). Sendo que o menor valor da IDT encontrado foi utilizado para o cálculo, desde que embasados em estudos toxicológicos crônicos.

$$VMP = \frac{IDT \times PC \times FA}{V} \quad (1)$$

Onde: VMP: valor máximo permitido ($\mu\text{g/L}$); IDT: ingestão diária tolerável ($\mu\text{g/kg pc.d}$); PC: peso corpóreo médio de 60 kg; FA: fator de alocação de 0,1; V: consumo diário de água de 2 L (Brasil, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AGROTÓXICOS AUTORIZADOS PARA USO NO BRASIL ENTRE 2020 E 2023

A Figura 1 representa uma evolução temporal que abrange os anos de 2012 a 2023. Durante esses anos, observa-se uma variação na autorização e proibição de diferentes IAs, destacando o ano de 2019, quando houve um pico na proibição de IAs, com mais de 45 IAs proibidos para uso no país. Destaca-se também um aumento após 2020 na autorização de outros compostos (agentes microbiológicos, adjuvantes, feromônios sintéticos e hormônios vegetais), mostrando uma tendência em se utilizar outras classes de compostos em prol de uma agricultura mais sustentável.

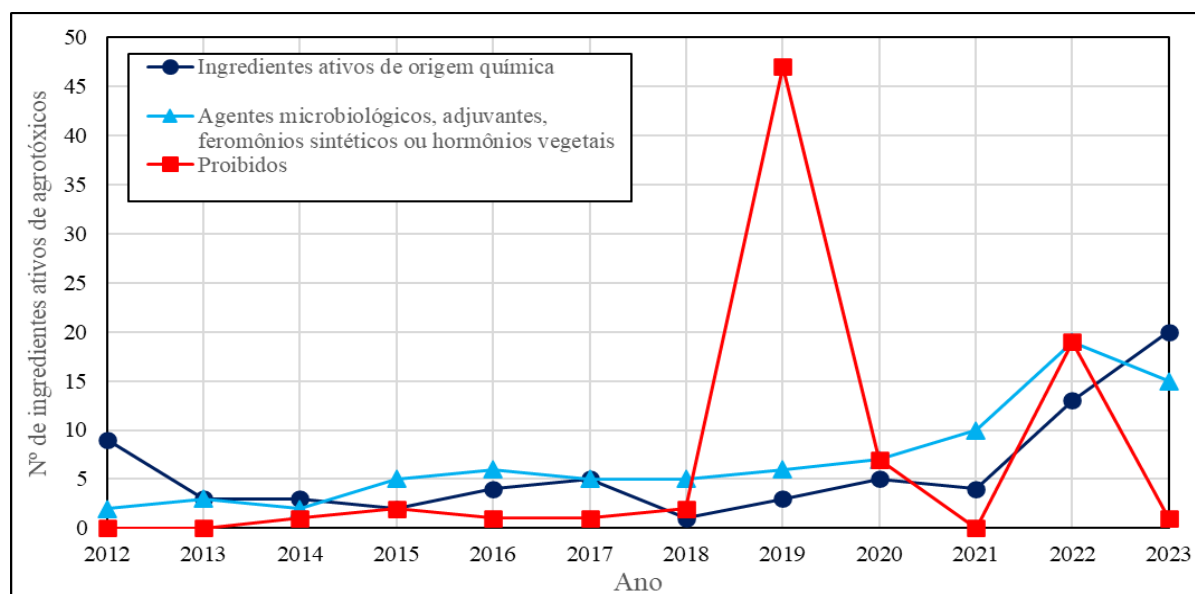


Figura 1. Número de ingredientes ativos de agrotóxicos autorizados e proibidos no Brasil entre 2012 e 2023.

Como o estudo tem um recorte temporal de 2020 a 2023 foram selecionados, inicialmente, 42 compostos: ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), afidopiropeno, ametoctradina, aminociclopiraclo, benalaxil-M, biciclopirona, bistrifluom, bixlozona, ciclanilprole, 1,4-dimetilnaftaleno, dimpropiridaz, espiropidiona, fenpirazamina, fenpropidina, florilpicoxamida, fluazaindolizina, flucarbazona sódica, fluindapir, folcisteína, halauxifeno-metílico, impirfluxam, ipflufeniquim, isocicloseram, isofetamida, isopirazam, mandestrobina, mefentrifluconazol, metamifope, monfluorotrina, natamicina, oxatiapiprolina,

penflufem, pidiflumetofem, pinoxadem, piroxassulfona, piribencarbe, piriofenona, sedaxane, tiafenacil, tiencarbazona-metílica, tolfenpirade e tolpiralate.

Em relação à classe desses 42 IAs, as três que apresentaram o maior quantitativo foram, respectivamente: fungicida (19 IAs), herbicida (11 IAs) e inseticida (8 IAs) (ANVISA, 2025).

3.2 POTENCIAL CARCINOGÊNICO DOS AGROTÓXICOS

Entre os compostos avaliados, afidopiropeno, fenpropidina, sedaxane, penflufem, tolpiralate e biciclopirona apresentaram evidências sugestivas de potencial carcinogênico (USEPA, 2023). Benalaxil-M e isopirazam foram classificados como provavelmente carcinogênicos, com base em estudos em animais que mostraram o desenvolvimento de tumores após a exposição aos compostos. Em contraste, o pinoxadem não apresentou informações suficientes para que se possa atestar se é carcinogênico ou não (USEPA, 2023).

Onze dos 42 IAs analisados não constavam na lista de carcinogenicidade da USEPA (2023), foram eles: bistriflurom, natamicina, 1,4-dimetilnaftaleno, metamifope, ACC, dimpropiridaz, piribencarbe, isocicloseram, florilpicoxamida, bixlozona e folcisteína. Os demais IAs investigados foram classificados como provavelmente não carcinogênicos (USEPA, 2023). Na IARC (2024) não foram encontrados dados sobre a carcinogenicidade dos IAs estudados.

3.3 DINÂMICA AMBIENTAL DOS AGROTÓXICOS

Dos 42 IAs analisados, sete ingredientes ativos foram excluídos com base nos critérios de dinâmica ambiental por apresentarem características que potencialmente reduzem o risco de contaminação das águas. O pinoxadem (DT50 água = 0,27 d; IUPAC, 2025) foi excluído pelo critério 1, indicando seu elevado potencial de degradação em água. Da mesma forma, os compostos tolfenpirade (Koc = 63.300 mL/g e DT50 solo = 4 d; IUPAC, 2025), ametotradina (Koc = 7.713 mL/g e DT50 solo = 1,8 d; IUPAC, 2025) e 1,4-dimetilnaftaleno (Koc = 4.139 mL/g; TGSC, 2025 e DT50 solo = 11,6 d; RIVM, 2018) foram excluídos com base no critério 2, que aponta para sua imobilidade no solo e degradação nessa matriz.

Halauxifeno-metílico (Koc = 1.417 mL/g e DT50 solo = 1,3 d; IUPAC, 2025) foi excluído pois apresenta alto potencial de adsorção ao solo e rápida degradação, como indica o terceiro critério de exclusão. O critério 4 excluiu o tiafenacil (Koc = 30 mL/g e DT50 água = 5 d; APVMA, 2020), já que este tem um baixo potencial de adsorção ao solo e um tempo de meia-vida baixo na água, o que limita a persistência na água. A fenpropidina ($KH' = 0,0014$ e $KH'/Kow = 1,74 \times 10^{-6}$) foi excluída pelo critério 6, que aponta para sua alta volatilidade, o que reduz o risco de contaminação aquática devido a sua elevada volatilização.

Apesar desses compostos apresentarem características que reduzem a probabilidade de contaminar os mananciais tal fato pode ocorrer, mas em comparação com os compostos que não foram excluídos, os sete compostos possuem uma menor propensão de serem encontrados em tal matriz. Ressalta-se que dos 42 IAs avaliados, não

foram encontrados valores de Koc, DT50 em água, devido à hidrólise e no solo, respectivamente, para 21, 21, 12 e 9 IAs, sendo assim, não foram excluídos pelos critérios aplicados por falta de informações.

3.4 AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

Assim, 35 IAs foram analisados quanto ao risco à saúde humana por meio da aplicação da matriz semiquantitativa de risco. Para o estabelecimento das faixas de valores da variável exposição (Quadro 3) foi considerado o montante comercializado de 272 IAs entre 2009 e 2023 (IBAMA, 2025) em média anual no Brasil.

Quadro 3. Pontuação para faixa de valores calculados de exposição e toxicidade.

Pontuação	Comercialização – exposição (ton./ano) ^(a)	IDT – toxicidade (mg/kg p. c. dia) ^(b)
1	0 a 16,2	> 0,0500
2	16,2 a 157,1	0,0200 a 0,0500
3	157,1 a 802,7	0,0080 a 0,0200
4	> 802,7	0 a 0,0080

Legenda: (a) Faixa de comercialização construída a partir do cálculo dos quartis das médias totais de 272 agrotóxicos com vendas reportadas no IBAMA (2025) para o Brasil entre 2009 e 2023; (b) Assunção e Pereira (2024); IDT: ingestão diária tolerável; p.c.: peso corpóreo.

Dos 35 IAs analisados, 14 IAs não apresentaram vendas reportadas entre 2020 e 2023 e nove apresentaram vendas nulas. Para três IAs, ACC, folcisteína e monflurotrina, não foram encontrados valores de IDT nas fontes consultadas (Tabela 1). Destacaram-se o impirfluxam com a maior média anual comercializada no Brasil no período avaliado, com 262,9 ton./ano e a biciclopirona com o menor valor de IDT, com 0,001 mg/kg p.c. dia, indicando se tratar de um composto com elevada toxicidade à saúde humana (Tabela 1). No entanto, ainda não há registro de vendas desse IA no país. Assim, recomenda-se atenção e monitoramento de suas vendas nos próximos anos, uma vez que se trata de um composto com elevada toxicidade, bem como para o tolpiralate que também possui elevada toxicidade, com pontuação 4 atribuída para a IDT (Tabela 1).

Dos 35 IAs avaliados, 68,6% apresentaram risco baixo, enquanto 17,1% apresentaram risco baixo-médio (biciclopirona, espiropidiona, fluindapir, isocloseram, mefentrifluconazol e tolpiralate). Além disso, dois IAs apresentaram pontuação igual ou superior a oito: a piroxassulfona e o metamifope (Tabela 1), indicando se tratar de compostos que possuem elevado potencial de exposição via água de consumo humano e elevada toxicidade à saúde. Por esse motivo, foram priorizados para uma discussão aprofundada.

Tabela 1. Dados de comercialização e IDT dos agrotóxicos selecionados na água de consumo humano no Brasil.

Ingrediente ativo	Média anual de vendas de 2020 a 2023 (ton./ano)	Pontuação comercialização	Menor IDT (mg/kg p.c. dia)	Pontuação IDT	Pontuação total
ACC	0,0	1	Não tem IDT	-	-
Alfidopiropeno	0,0	1	0,03 ^(a)	2	2
Aminociclopiracloro	0,0	1	2,8 ^(a,b)	1	1
Benalaxil-M	12,7	1	0,04 ^(a)	2	2
Biciclopirona	-	1	0,001 ^(b)	4	4
Bistriflurom	0,0	1	0,073 ^(a)	1	1
Bixlozona	-	1	0,3 ^(b)	1	1
Ciclaniliprole	7,5	1	0,0129 ^(a)	3	3
Dimpropiridaz	-	1	0,2 ^(b)	1	1
Espiropidiona	21,0	2	0,02 ^(c)	3	6
Fenpirazamina	0,0	1	0,03 ^(c)	2	2
Florilpicoxamida	-	1	0,03 ^(a)	2	2
Fluazaindolizina	-	1	0,3 ^(c)	1	1
Flucarbazona sódica	-	1	0,36 ^(a)	1	1
Fluindapir	39,9	2	0,02 ^(a)	3	6
Folcisteína	-	1	Não tem IDT	-	-
Impirfluxam	262,9	3	0,06 ^(a,b,c)	1	3
Ipflufenoquim	-	1	0,048 ^(b)	2	2
Isocicloseram	154,7	2	0,017 ^(a)	3	6
Isofetamida	0,0	1	0,05 ^(a,b,c)	2	2
Isopirazam	-	1	0,03 ^(d)	2	2
Mandestrobina	0,0	1	0,19 ^(a,d)	1	1
Mefentrifluconazol	172,1	3	0,035 ^(a,d)	2	6
Metamifope	16,7	2	0,0042 ^(a)	4	8
Monfluorotrina	-	1	Não tem IDT	-	-
Natamicina	-	1	0,3 ^(a)	1	1
Oxatiapirolina	1,0	1	0,14 ^(d)	1	1
Penflufem	-	1	0,04 ^(a,d)	2	2
Pidiflumetofem	149,9	2	0,092 ^(a)	1	2
Piribencarbe	-	1	0,04 ^(a)	2	2
Piriofenona	0,0	1	0,07 ^(d)	1	1
Piroxassulfona	227,6	3	0,002 ^(a)	4	12
Sedaxane	-	1	0,1 ^(c)	1	1
Tiencarbazona-metílica	9,7	1	0,23 ^(a)	1	1
Tolpiralate	0,0	1	0,0027 ^(a)	4	4

Legenda: (a) ANVISA (2025); (b) APVMA (2025); (c) JMPR (2025); (d) European Commission (2025); ACC: ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico; IDT: ingestão diária tolerável; p.c.: peso corpóreo.

3.5 DISCUSSÃO SOBRE OS AGROTÓXICOS PRIORITÁRIOS

3.5.1 Piroxassulfona

O herbicida piroxassulfona, do grupo químico pirazol isoxazolina, foi autorizado para uso no Brasil em julho de 2020 para aplicação em pré-emergência nas culturas de algodão, amendoim, batata, café, cana-de-açúcar, cebola, cevada, citros, eucalipto, fumo, girassol, mandioca, milho, pinus, soja e trigo, e em pós-emergência em pastagem (ANVISA, 2025). Possui valor de Koc de 223 mL/g (IUPAC, 2025), que de acordo com as faixas estabelecidas pela ATSDR (1992), trata-se de um composto com moderada mobilidade no solo. Ainda nessa matriz, possui um DT50 de 22 d, considerado baixo e não persistente (IUPAC, 2025). O DT50 em água para esse IA é entre 50 e 54 d, e estável devido à hidrólise (Ministry of Health, 2019), indicando persistência nessa matriz. A solubilidade em água é de 3,49 mg/L, considerada baixa (IUPAC, 2025). Por conseguinte, possui médio potencial de contaminação de mananciais superficiais e subterrâneos (Goss, 1992; Gustafson, 1989). Com valores de KH' inferior a 10^{-4} ($KH' = 1,08 \times 10^{-7}$) e relação KH'/Kow inferior a 10^{-9} ($KH'/Kow = 4,41 \times 10^{-10}$), é considerado um composto com baixo potencial de volatilização (Rogers, 1996; Stenstrom *et al.*, 1989).

A USEPA (2023) classifica esse IA como provável não carcinogênico para humanos em doses que não causam formação de cálculos na bexiga urinária, todavia, resultando em dano celular no trato urinário. O VMP proposto para tal substância na água para consumo humano foi de 6 µg/L, considerando a IDT de 0,002 mg/kg p.c. dia (ANVISA, 2025).

A comercialização da piroxassulfona no Brasil demonstrou crescimento no período analisado (2020-2023), com aumento de quase 75 vezes no montante total comercializado (de 5,41 ton. em 2020 para 405,27 ton. em 2023) (IBAMA, 2025).

Entre 2020 e 2023, o estado de São Paulo (SP) emergiu como o maior consumidor desse IA, com 0,96 ton. (2020), 38,19 ton. (2021), 87,58 ton. (2022) e 126,32 ton. (2023). Correspondendo entre 17,7% a 31,2% do total nacional comercializado entre esses anos (IBAMA, 2025). Minas Gerais (MG), Mato Grosso (MT) e Rio Grande do Sul (RS), alternaram ao longo dos anos entre a segunda e terceira posição no ranking de comercialização. Com MG em segundo lugar em 2020 (16,0%), RS em 2021 (17,9%), MT em 2022 (21,5%) e RS em 2023 (17,4%). A Região Sudeste liderou o ranking de 2020 a 2023, variando de 32% a 42% de toda a venda nacional (IBAMA, 2025).

Com isso, a expressiva participação de SP na venda da piroxassulfona pode estar relacionada ao fato de que importantes culturas cultivadas neste estado são de uso autorizado para tal IA. Nesse contexto, destaca-se a cana de açúcar, cultura com maior área plantada no estado em 2023 (5.496.459 ha), bem como a soja (1.360.285 ha) e o milho (827.296 ha), que representam as três culturas com as maiores áreas plantadas no estado (IBGE, 2025). Ao total, as culturas cujo uso da piroxassulfona é autorizado representam 97% da área plantada reportada pelo IBGE para SP, compreendendo as culturas de algodão, amendoim, batata, cana-de-açúcar, cebola, cevada, girassol, mandioca, milho, soja e trigo (IBGE, 2025).

O crescimento acelerado na comercialização da piroxassulfona entre 2020 e 2023, com um aumento de 5,41 para 405,27 ton., pode ser atribuído a dois principais fatores. Em primeiro lugar, a comprovada eficácia agrônômica regionalizada do produto,

particularmente no controle de plantas daninhas problemáticas e que apresentam alta resistência em culturas-chave, como *Cyperus rotundus* e *Cyperus esculentus*, as quais alcançaram índices de controle entre 98-100% para doses entre 1,0 e 2,0 L p.c. ha⁻¹ de piroxassulfona (Araújo *et al.*, 2023), tornando-a uma solução técnica atraente para agricultores.

Em segundo lugar, as adaptações regulatórias desempenharam papel crucial. Em 2020, o MAPA registrou cinco produtos inéditos formulados com piroxassulfona, destacando sua aplicação em culturas economicamente relevantes como café, cana-de-açúcar e soja (Brasil, 2020). Essa flexibilização regulatória, aliada à classificação do produto como menos tóxico que herbicidas tradicionais, facilitou sua adoção em larga escala.

3.5.2 Metamifope

O herbicida metamifope pertence ao grupo químico ácido ariloxifenoxipropiônico e foi autorizado para uso no Brasil em setembro de 2022 para aplicação em pós-emergência nos cultivos de arroz e trigo (ANVISA, 2025). Possui baixa solubilidade em água, na ordem de 0,687 mg/L (IUPAC, 2025). O log Kow de 5,47 para esse IA, superior a três, indica se tratar de uma substância hidrofóbica (Staudinger; Roberts, 1996). Além disso, apresenta valores de KH' inferior a 10⁻⁴ (KH' = 2,60 x 10⁻⁵) e relação KH'/Kow inferior a 10⁻⁹ (KH'/Kow = 8,80 x 10⁻¹¹), o que implica em baixo potencial para se volatilizar (Rogers, 1996; Stenstrom *et al.*, 1989). No solo, possui DT50 de 70 d, sendo assim, é considerado de persistência moderada nessa matriz (IUPAC, 2025).

Não há valores de Koc, DT50 em água e devido à hidrólise reportados na IUPAC (2025) para esse IA, o que inviabilizou a aplicação de alguns critérios de dinâmica ambiental. Por esse motivo, manteve-se tal IA visando a precaução em relação ao seu comportamento no ambiente. Não possui classificação quanto ao seu potencial carcinogênico pela IARC (2024) e nem pela USEPA (2023). O VMP proposto para esse IA na água destinada ao consumo humano foi de 12,6 µg/L, considerando a IDT de 0,0042 mg/kg p.c. dia (ANVISA, 2025).

Em 2023, a análise da comercialização do metamifope revelou uma evidente concentração geográfica no território brasileiro. Os dados demonstram que a Região Sul foi responsável por 32,22 ton., correspondendo a cerca de 97% do total comercializado no país (33,31 ton.) (IBAMA, 2025).

Dentro dessa região, o estado do RS apresentou um desempenho particularmente expressivo, respondendo individualmente por 27,84 ton., o que equivale a aproximadamente 83,6% do total nacional (IBAMA, 2025). Esse resultado evidencia o papel de destaque do RS no cenário de utilização desse composto. Inicialmente, com base em tal comercialização, recomenda-se uma regulamentação em nível estadual.

Com base nos dados de área plantada do IBGE (2025), nota-se a importância do RS para a produção de trigo e arroz nacionais, sendo essas as duas culturas que o uso do metamifope é autorizado pela ANVISA (2025). Apenas em 2023, o estado apresentou uma área plantada de 845.423 ha de arroz e de 1.505.807 ha de trigo, valores que representam as maiores áreas plantadas para essas culturas no país, e representam aproximadamente 56% e 45%, respectivamente, da produção nacional das mesmas (IBGE, 2025).

As demais macrorregiões brasileiras apresentaram quantitativos de comercialização substancialmente inferiores. A Região Centro-Oeste, incluindo o Distrito Federal, registrou 0,40 ton. (1,2% do total), enquanto a Região Norte comercializou 0,54 ton. (1,6%). As Regiões Sudeste e Nordeste tiveram participações pequenas, com 0,15 ton. e valores próximos de zero, respectivamente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil se destaca na agricultura. Todavia, tal fato, não deve implicar em danos ao meio ambiente e à saúde humana. Devido à extensão e às diferentes características do Brasil busca-se identificar os agrotóxicos mais relevantes em termos de toxicidade e exposição para uma possível regulamentação na água de consumo humano do país. Isso se faz necessário para manter um olhar atento em relação aos níveis considerados seguros na água destinada ao consumo humano, mas também para focar nos compostos de maior relevância para o país.

Esse estudo verificou um aumento no uso de agentes microbiológicos, adjuvantes, feromônios sintéticos e hormônios vegetais ao longo dos anos, constatando uma busca por agentes que resultem em uma agricultura mais sustentável. Ainda assim, foram identificados 42 IAs novos e autorizados entre 2020 e 2023. Desses, dois se destacaram considerando a dinâmica ambiental do composto, toxicidade e exposição: a piroxassulfona e o metamifope.

A piroxassulfona possui comercialização distribuída em todo país, com destaque para SP que detém em média 25% do total comercializado em território nacional, com um VMP proposto de 6 µg/L. Já o metamifope apresentou uma concentração das vendas na Região Sul, com destaque para o RS com aproximadamente 84% do montante comercializado no país, principalmente devido aos cultivos de trigo e arroz que são destaques nesse estado. Devido a isso recomenda-se o acompanhamento da comercialização desse IA e se mantendo localizada no país, uma regulamentação em nível estadual com um VMP de 12,6 µg/L.

5 AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC) da UFJF. À Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UFJF. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de doutorado e de produtividade em pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pós-graduação. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio no projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

AHMED, H.; ABUSHOUK, A. I.; GABR, M.; NEGIDA, A.; ABDEL-DAIM, M. M. Parkinson's disease and pesticides: A meta-analysis of disease connection and genetic alterations. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 90, p. 638-649, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.03.100>

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Requisitos para o registro de produtos microbiológicos empregados na agricultura são atualizados**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2023/requisitos-para-o-registro-de-produtos-microbiologicos-empregados-no-uso-agricola-sao-atualizados#>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Monografias de agrotóxicos**. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografia>>. Acesso em: 09 jun. 2025.

APVMA. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. **Acceptable daily intakes (ADI) for agricultural and veterinary chemicals used in food producing crops or animals**. 2025. Disponível em: <<https://www.apvma.gov.au/chemicals-and-products/health-based-guidance-values/adi/doc>>. Acesso em: 09 jun. 2025.

APVMA. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. **Public Release Summary on the evaluation of tiafenacil in the Terrad' or 700 WG Herbicide. APVMA product number 88074**. 2020. Disponível em: <https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/75726-public_release_summary_on_the_evaluation_of_the_tiafenacil_in_the_product_terrador_700_wg_herbicide.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

ARAÚJO, A. P.; CORRÊA, P. H. A.; DA SILVA, D. C. P.; VIANA, E. S.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E. Eficácia de controle do herbicida falcon (piroxasulfona + flumioxazina) em aplicações em pré-emergente das espécies *cyperus rotundus* e *cyperus esculentus*. **Revista Foco**, v. 16, n. 11, p. e2891, 2023. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n11-004>

ASSUNÇÃO, T. O. G.; GOMES, F. B. R.; BRANDT, E. M. F.; PEREIRA, R. O. Novos agrotóxicos e o padrão de potabilidade da água: dinâmica ambiental e riscos à saúde. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 17, e. 16, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.21168/reg.v17e16>

ASSUNÇÃO, T. O. G.; PEREIRA, R. O. Triagem de agrotóxicos visando a legislação da água de consumo humano em Minas Gerais. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 3, p. e11969, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n3e11969>

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **ATSDR public health assessment guidance manual**. 1992.

BASTOS, R. K. X.; AQUINO, S. F.; PEREIRA, R. O.; BRANDT, E. M. F.; VEKIC, A. M.; VIANA, D. B.; MAGALHÃES, T. B.; CAVENDISH, T. A. **Subsídios para discussão e orientações para revisão da Portaria MS nº 2914/2011: Critérios de seleção de agrotóxicos**. Ministério da Saúde, [S.l.:S.n.], 2020.

BRASIL. **Decreto Nº 10.833, de 7 de outubro de 2021**. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 out. 2021b. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Instrução Normativa Conjunta nº 1, de 23 de janeiro de 2006**. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Manual de Procedimentos para Registro de Agrotóxicos**. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Mapa registra 63 produtos formulados para controle de pragas na agricultura**. 2023b. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-registra-63-produtos-formulados-para-controle-de-pragas-na-agricultura>>. Acesso em: 13 jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Mapa bate recorde de registros de defensivos agrícolas de controle biológico**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-bate-recorde-de-registros-de-defensivos-agricolas-de-controle-biologico>>. Acesso em: 14 mai. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888/2021, de 4 de maio de 2021**. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 mai. 2021a.

BRASIL. Presidência da República. Congresso. Senado. **Lei Nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023**. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 28 dez. 2023a, Seção 1, n. 246, p. 28-33.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Guia para implementação da norma de qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2024. 131 p.

CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, L. G. S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015.

CATÃO, P. B.; ASSUNÇÃO, T. O. G.; PEREIRA, R.O. Estudo do potencial carcinogênico dos agrotóxicos comercializados e autorizados para uso no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 32º, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: ABES, 2023, p. 1-14.

EUROPEAN COMMISSION. **EU Pesticides Database. Active substances, safeners and synergists**. 2025. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances>>. Acesso em: 09 jun. 2025.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. **Pesticides Use**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>>. Acesso em: 31 out. 2024.

FONSECA, J. E. D.; ALCÂNTARA, R.; BARBOSA, J. E. C.; CAMPOS, P. K. Poluição da água e solo por agrotóxicos. **Revista Científica E-Locução**, v. 1, n. 15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.57209/e-locucao.v1i15.183>

FREIRE, C.; KOIFMAN, J.; SARCINELLI, P. N.; ROSA, A. C. S.; CLAPAUCH, R.; KOIFMAN, S. Associação entre níveis séricos de pesticidas organoclorados e hormônios sexuais em adultos residentes em área altamente contaminada no Brasil. **Revista Internacional de Higiene e Saúde Ambiental**, v. 217, p. 370-378, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.07.01>

FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL. **Atlas dos agrotóxicos: fatos e dados do uso dessas substâncias na agricultura**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2023.

GADINI, R. S. **Efeitos ecotoxicológicos de herbicida e de inseticida biológico em solo: estudo com minhocas *Eisenia andrei***. 2024. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2024.

GOSS, D. W. Screening Procedure for Soils and Pesticides for Potential Water Quality Impacts. **WeedTechnology**, v. 6, n. 3, p. 701-708, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00036083>

GUSTAFSON, D. I. Groundwater Ubiquity Score: a Simple Method for Assessing Pesticide Leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 8, p. 339-357, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.5620080411>

HEALTH CANADA. **Guidelines for Canadian Drinking Water Quality**. 2025. Disponível em: <<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/water-quality/guidelines-canadian-drinking-water-quality-summary-table.html#t2>>. Acesso em: 09 jun. 2025.

HOLKA, M.; KOWALSKA, J. The Potential of Adjuvants Used with Microbiological Control of Insect Pests with Emphasis on Organic Farming. **Agriculture**, v. 13, n. 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091659>

IARC. International Agency for Research on Cancer. **List of Classifications**. 2024. Disponível em: <<https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatórios de Comercialização**. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#sobreosrelatorios>>. Acesso em: 16 mai. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. 2025. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 17 abr. 2025.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. **Pesticides Properties DataBase**. 2025. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/>>. Acesso em: 11 jun. 2025.

JMPR. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. **Inventory of evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR)**. 2025. Disponível em: <<https://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/>>. Acesso em: 09 jun. 2025.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151-164, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v10i2.106>

MARTINI, L. F. D.; CALDAS, S. S.; BOLZAN, C. M.; BUNDT, A. D. A.; PRIMEL, E. G.; AVILA, L. A. Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1715–1721, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012001000001>

MEHRPOUR, O.; KARRARI, P.; ZAMANI, N.; TSATSAKIS, A. M.; ABDOLLAHI, M. Occupational exposure to pesticides and consequences on male semen and fertility: A review. **Toxicology Letters**, v. 230, n. 2, p. 146-156, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.01.029>

METCALF; EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MINISTRY OF HEALTH. New Zealand. **Guidelines for drinking-water quality management for New Zealand: Volume 3 - Datasheets: chemical and physical determinands, Part 2.3: Pesticides**. 2019. Disponível em: <<https://www.health.govt.nz/publication/guidelines-drinking-water-quality-management-new-zealand>>. Acesso em: 23 fev. 2022.

MOSTAFALOU, S.; ABDOLLAHI, M. Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 268, n. 2, p. 157-177, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.01.025>

MOTTA, M. B.; LEITE, L. C. O. F.; PEREIRA, R. O. Método de avaliação do potencial de contaminação dos mananciais de abastecimento por agrotóxicos no município de Juiz de Fora (Minas Gerais). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 41-57, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7320694>

NEW ZEALAND. **Water Services (Drinking Water Standards for New Zealand) Regulations 2022**. 2022. Disponível em: <<https://www.legislation.govt.nz/regulation/public/2022/0168/latest/whole.html>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

NHMRC/NRMMC. National Health and Medical Research Council/ Natural Resource Management Ministerial Council. **Australian Drinking Water Guidelines 6: version 3.9 Updated December 2024**. 2024. Disponível em: <<https://www.nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines#block-views-block-file-attachments-content-block-1>>. Acesso em: 10 fev. 2025.

PACANOSKI, Z. Herbicides and adjuvants. IntechOpen, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5772/60842>

PELAEZ, V.; TEODOROVICZ, T.; GUIMARÃES, T. A.; SILVA, L. R.; MOREAU, D.; MIZUKAWA, G. A dinâmica do comércio internacional de agrotóxicos. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 2, 2016.

PICOLLI, C.; CREMONESE, C.; KOIFMAN, R. J.; KOIFMAN, S.; FREIRE, C. Pesticide exposure and thyroid function in an agricultural population in Brazil. **Environmental Research**, v. 151, p. 389-398, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.08.011>

REBELO, R. M.; CALDAS, E. D. Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos. **Química Nova**, v. 37, n. 7, p. 1199-1208, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140165>

RIVM. National Institute for Public Health and the Environment. **CLH report for 1,4-dimethylnaphthalene**. 2018. Disponível em: <https://www.echa.europa.eu/documents/10162/13626/clh_rep_1_4_dimethylnaphthalene_en_SPS-014730-19.pdf/e90370ed-e4bd-9c0c-d4fd-33d3320945fe>. Acesso em: 17 jun. 2025.

ROGERS, H. R. Sources, behaviour and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludges. **Science of the Total Environment**, v. 185, n. 1-3, p. 3-26, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(96\)05039-5](https://doi.org/10.1016/0048-9697(96)05039-5)

SCHLINKER, C. S. **Norma brasileira de potabilidade: análise das quantidades de agrotóxicos permitidas na água sob a perspectiva da saúde de crianças e adolescentes**. 2022. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2022.

SOUZA, G. S.; COSTA, L. C. A.; MACIEL, A. C.; REIS, F. D. V.; PAMPLONA, Y. A. P. Presença de agrotóxicos na atmosfera e risco à saúde humana: uma discussão para a Vigilância em Saúde Ambiental. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3269–3280, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-812320172210.18342017>

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M. **Monitoramento do Risco Ambiental de Agrotóxicos: princípios e recomendações**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 29 p.

STAUDINGER, J.; ROBERTS, P. V. A critical review of Henry's law constants for environmental applications. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 26, n. 3, p. 205-297, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389609388492>

STENSTROM, M. K.; CARDINAL, L.; LIBRA, J. Treatment of hazardous substances in wastewater treatment plants. **Environment and Progress**, v. 8, n. 2, p. 107-112, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1002/ep.3300080214>

TGSC. The Good Scents Company. **TGSC Information System. 1,4-Dimethylnaphthalene**. 2025. Disponível em: <<http://www.thegoodscentscompany.com/episys/ep1149031.html>>. Acesso em: 17 jun. 2025.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables**. EPA 822-F-18-001. Washington, DC: Office of Water, 2018.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Chemicals evaluated for carcinogenic. Potential annual cancer report**. 2023. Disponível em: <https://npic.orst.edu/chemicals_evaluated.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2024.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Integrated Risk Information System**. 2025. Disponível em: <<https://www.epa.gov/iris>>. Acesso em: 09 jun. 2025.

WARD, E. H. Defining Active Ingredient: **The U.S. Food and Drug Administration's Legal Interpretation of Regulatory Exclusivities**. In: Congressional Research Service (CRS) Reports and Issue Briefs, 2023, Washington, DC. Washington, DC: Congressional Research Service (CRS) Reports and Issue Briefs, 2023. n.p.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda**. 4th ed + 1st add + 2nd add. Geneva: World Health Organization, 2022.

ZHOU, W.; LI, M.; ACHAL, V. A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. **Emerging Contaminants**, v. 11, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>