

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

ALINE DA CONCEIÇÃO FARIA DO AMARAL

Panorama geral dos pesticidas em Minas Gerais: Ingredientes ativos mais vendidos, avaliação do potencial de contaminação e principais impactos no meio ambiente

São Paulo

2024

Panorama geral dos pesticidas em Minas Gerais: Ingredientes ativos mais vendidos, avaliação do potencial de contaminação e principais impactos no meio ambiente

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Prof^a Dra. Carolina Afonso Pinto

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação

Amaral, Aline da Conceição Faria do
Panorama geral dos pesticidas em Minas Gerais: Ingredientes ativos
mais vendidos, avaliação do potencial de contaminação e principais impactos no
meio ambiente / A. C. F. Amaral -- São Paulo, 2024.
52 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento
Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Ingredientes ativos 2.Pesticidas 3.Contaminação ambiental
4.Contaminação da água I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Química II.t.

RESUMO

AMARAL, Aline da Conceição Faria do. Panorama geral dos pesticidas em Minas Gerais: Ingredientes ativos mais vendidos, avaliação do potencial de contaminação e principais impactos no meio ambiente. 2024. 52 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Neste estudo foi apresentado o panorama geral dos pesticidas mais utilizados no Estado de Minas Gerais considerando o ano base 2022, além do potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelos compostos mais utilizados e seus principais impactos nos compartimentos ambientais. Foram utilizadas as propriedades físico-químicas dos compostos, o método de Goss (1992) para se obter o potencial de contaminação da água superficial e o índice de GUS (1989) para avaliação do potencial de contaminação das águas subterrâneas. Também foram avaliados os resultados das amostras de água para consumo humano disponíveis no SISÁGUA para o Estado de Minas Gerais, considerando o ano de 2022. Os resultados mostraram que o ingrediente ativo glifosato lidera o *ranking* como o mais vendido no ano de 2022, comportamento também observado nos anos anteriores, seguido de mancozebe, atrazina, acefato e 2,4-D. O potencial de contaminação da água superficial relacionado ao transporte associado ao sedimento foi baixo para 2,4-D, acefato e mancozebe, e médio para atrazina e glifosato. Já para o potencial de transporte dissolvido em água, o potencial foi alto para atrazina e médio para 2,4-D, acefato, glifosato e mancozebe. Na água subterrânea, o 2,4-D é apontado com provável lixiviação, atrazina foi enquadrada na zona de transição e acefato, glifosato e mancozebe demonstraram potenciais nulos de lixiviação. A avaliação dos resultados de potabilidade evidenciou que os compostos estudados foram quantificados em pelo menos 35% das amostras de água distribuídas para a população no ano de 2022. Os possíveis efeitos analisados nos diferentes compartimentos ambientais e na saúde humana demonstram impactos que não devem ser subestimados.

Palavras-chave: Ingredientes ativos. Pesticidas. Contaminação ambiental. Contaminação da água.

ABSTRACT

AMARAL, Aline da Conceição Faria do. Overview of Pesticides in Minas Gerais: Best-selling Active Ingredients, Assessment of Contamination Potential, and Main Environmental Impacts. 2024. 52 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

This study presented an overview of the most commonly used pesticides in the state of Minas Gerais, considering the base year of 2022, as well as the potential contamination of surface and groundwater by these compounds and their main impacts on environmental compartments. The physical-chemical properties of the compounds were utilized, along with the Goss method (1992) to assess the potential contamination of surface water and the GUS index (1989) to evaluate the potential contamination of groundwater. Additionally, the results of water samples for human consumption available in SISÁGUA for the state of Minas Gerais, considering the year 2022, were evaluated. The results indicated that the active ingredient glyphosate topped the ranking as the best-selling in 2022, a trend also observed in previous years, followed by mancozeb, atrazine, acephate, and 2,4-D. The potential contamination of surface water related to sediment-associated transport was low for 2,4-D, acephate, and mancozeb, and medium for atrazine and glyphosate. As for the potential of transport dissolved in water, it was high for atrazine and medium for 2,4-D, acephate, glyphosate, and mancozeb. In groundwater, 2,4-D is identified as having probable leaching, atrazine was classified in the transition zone, and acephate, glyphosate, and mancozeb demonstrated null potentials for leaching. The evaluation of potability results showed that the compounds studied were quantified in at least 35% of the water samples distributed to the population in the year 2022. The potential effects analyzed in different environmental compartments and on human health demonstrate impacts that should not be underestimated.

Keywords: Active ingredients. Pesticides. Environmental contamination. Water contamination.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	OBJETIVOS.....	8
3.	JUSTIFICATIVA.....	8
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
4.1.	Contaminantes emergentes	9
4.2.	Legislação incidente sobre Agrotóxicos no Brasil	10
4.3.	Legislação incidente sobre Agrotóxicos em Minas Gerais.....	12
4.4.	Classificação dos Agrotóxicos.....	13
4.5.	Características dos principais ingredientes ativos vendidos em Minas Gerais (ano base 2022) e seu comportamento no meio ambiente	15
5.	METODOLOGIA	20
5.1.	Caracterização da área de estudo	20
5.2.	Levantamento dos agrotóxicos comercializados no Estado de Minas Gerais	21
5.3.	Obtenção das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos	21
5.4.	Avaliação do potencial de contaminação dos agrotóxicos – Método de GOSS e Índice de GUS	21
5.5.	Avaliação dos resultados de potabilidade para o ano de 2022.....	23
5.6.	Levantamento dos principais impactos no meio ambiente	24
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6.1.	Ingredientes ativos mais vendidos em Minas Gerais.....	25
6.2.	Potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas	27
6.3.	Avaliação dos resultados de potabilidade no ano de 2022	29
6.4.	Principais impactos no meio ambiente	36
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1- Fluxograma da formulação de um Agrotóxico.....	12
Figura 4-2 - Classificação toxicológica dos Agrotóxicos – Padrão GHS.	14
Figura 6-1 – Os 10 Ingredientes ativos mais vendidos em Minas Gerais no ano de 2022 (t) ..	25
Figura 6-2 – Consumo médio (t) dos 05 Ingredientes ativos mais vendidos em 2022 na série histórica de 2018 a 2022.....	26
Figura 6-3 – Consumo do glifosato, em toneladas nos últimos 05 anos	26
Figura 6-4 – Total de análises realizadas por ano (2,4 D + 2,4,5 T)	30
Figura 6-5 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (2,4 D + 2,4,5 T)	31
Figura 6-6 – Total de análises realizadas por ano (Atrazina).....	31
Figura 6-7 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (Atrazina)	32
Figura 6-8 – Total de análises realizadas por ano (Glifosato + AMPA)	32
Figura 6-9 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (Glifosato + AMPA)	33
Figura 6-10 – Total de análises realizadas por ano (Mancozebe)	33
Figura 6-11 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (Mancozebe)	34
Figura 6-12 – Total de análises realizadas por ano (Metamidofós)	34
Figura 6-13 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (Metamidofós)	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 5-1 – Propriedades físico-químicas dos pesticidas	21
Tabela 5-2 – Critérios para risco de contaminação das águas superficiais por pesticidas	22
Tabela 5-3 – Classificação do risco de contaminação da água subterrânea de acordo com o índice de GUS (1989)	23
Tabela 5-4 – Padrões de Potabilidade nacionais e internacionais	23
Tabela 6-1 – Potenciais de transporte para a água superficial dos ingredientes ativos mais utilizados em 2022	28

1. INTRODUÇÃO

Os pesticidas, ou agrotóxicos, são produtos químicos sintéticos utilizados em diferentes culturas com o objetivo de controlar pragas e impedir o desenvolvimento de ervas daninhas, tanto no ambiente rural quanto urbano. Para Scorza Júnior (2006), são designados como pesticidas quaisquer compostos utilizados com as finalidades acima especificadas, incluindo os inseticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas, fumigantes, reguladores de crescimento, dessecantes, etc.

Por ano, são consumidos no mundo cerca de 2,5 milhões de toneladas de agrotóxicos, sendo o Brasil, um dos países que mais consome as substâncias no mundo (SPADOTTO E GOMES, 2021) e permite níveis muito altos desses compostos nas águas e alimentos, do que os países da União Europeia (Atlas dos Agrotóxicos 2023, Fundação Heinrich Böll). Estima-se que no ano de 2022, o Brasil tenha importado mais de 280.000 mil toneladas de produtos formulados, segundo dados do IBAMA (2023).

Apenas 40 pesticidas são monitorados pela Portaria de Potabilidade (GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021) no Brasil, sendo um total de 368 ingredientes ativos liberados (AGROFIT, 2023). Considerando o ano de 2023, até outubro, segundo o site do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, foram registrados 199 produtos formulados, sendo 21 deles à base de novos ingredientes ativos. O glifosato lidera o *ranking* como o ingrediente ativo mais vendido no Brasil nos últimos anos, segundo dados do IBAMA, com destaque para os Estados de Mato Grosso e São Paulo.

Os pesticidas também são considerados contaminantes emergentes, sendo assim denominados por se tratar de substâncias químicas que não são tradicionalmente monitoradas ou regulamentadas, mas que têm se tornado uma preocupação crescente devido à sua presença no ambiente e aos possíveis impactos na saúde humana e no meio ambiente, com efeitos atribuídos à exposição crônica e que ocorrem, normalmente, em concentrações extremamente baixas.

A importância dos pesticidas para a produção agrícola e as principais culturas é indiscutível. Contudo, os impactos da utilização excessiva desses produtos no meio ambiente e na saúde humana têm levantado preocupações. Esses impactos incluem, toxicidade para organismos aquáticos, efeitos sobre organismos não-alvo, resistência de plantas daninhas, impactos na microbiota do solo, dentre outros, além de potencial desregulação endócrina e aumento do risco de câncer em humanos.

Neste sentido, diversos estudos científicos têm mostrado resíduos de pesticidas em diferentes compartimentos ambientais, sendo alguns acima dos valores máximos permitidos pela legislação, e diversas técnicas têm sido testadas e aplicadas pela comunidade científica para tratamento desses potenciais contaminantes.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal do estudo proposto foi apresentar um panorama geral sobre o consumo de pesticidas no Estado de Minas Gerais, usando como referência o ano de 2022. Também foi apresentado o potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelos ingredientes ativos mais utilizados e seus principais impactos nos diferentes compartimentos ambientais, através do levantamento de trabalhos científicos e publicações que contribuíram com a discussão da temática, tanto nacionais quanto internacionais, e ainda, foi incluída a avaliação dos dados de controle (lançados pelos prestadores de serviços de abastecimento) disponibilizados no SISÁGUA (BRASIL, 2023) para o Estado de Minas Gerais, tendo como referência o ano de 2022.

3. JUSTIFICATIVA

Na contramão dos países mais desenvolvidos, o consumo de pesticidas cresce a cada ano no país. A portaria de potabilidade vigente no Brasil, monitora 10 a 15% dos pesticidas liberados para uso. O estado de Minas Gerais tem produção agrícola diversificada, sendo o maior produtor de café do Brasil segundo dados da Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA (2023). A justificativa deste estudo se dá devido a importância da temática nesse contexto, a necessidade do entendimento das propriedades físico-químicas desses compostos, além do potencial de danos aos diferentes compartimentos ambientais.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Contaminantes emergentes

Para Montagner *et al.* (2017), a temática de contaminantes emergentes alcançou visibilidade na década passada. Desde então, vem sendo abordada em diferentes aspectos pela comunidade global. Se refere a centenas de compostos que têm sido detectados em diferentes compartimentos ambientais (solo, água e ar), sendo eles de origem antrópica (presentes em efluentes domésticos, industriais, hospitalares e aqueles provenientes das atividades agrícola e pecuária) ou de ocorrência natural (presentes em diferentes espécies de plantas, por exemplo). Os compostos podem apresentar algum risco ao ecossistema, comumente, não incluídos nos programas de monitoramento globais, ou seja, não possuem legislação específica quanto ao seu uso ou limites estabelecidos. Portanto, serão candidatos a uma futura regulamentação dependendo dos resultados obtidos em estudos de ecotoxicidade, efeitos à saúde humana, potencial de bioacumulação, transporte e destino nos diferentes compartimentos ambientais, além da quantidade em que são lançados e, portanto, da concentração no ambiente. Compreendem estudos que envolvem diferentes áreas da ciência e que têm sido considerados fundamentais para o esclarecimento dos novos paradigmas relacionados ao estilo de vida moderno. Conhecer os riscos associados à exposição por esses novos compostos, não contemplados nas legislações vigentes, permite antecipar e mitigar sérios danos para as gerações futuras.

A detecção e o monitoramento de contaminantes emergentes estão se tornando cada vez mais importantes, assim como a pesquisa sobre seus efeitos e a implementação de regulamentações adequadas para proteger a saúde pública e o meio ambiente. As agências reguladoras, os cientistas e a indústria estão trabalhando para entender melhor esses contaminantes e desenvolver estratégias para minimizar sua presença e impacto.

A maior parte dos efeitos são atribuídos à exposição crônica a esses compostos, que ocorrem em concentrações extremamente baixas, principalmente em matrizes aquáticas (ng a pg/L), o que torna ainda mais complexa a análise de avaliação de risco, seja considerando a preservação da vida aquática, dessedentação de animais, recreação ou a saúde humana (MONTAGNER *et al.*, 2017).

São diversas as substâncias que têm sido classificadas como contaminantes emergentes, incluindo: fármacos, compostos usados em produtos de higiene pessoal (ex: protetores solares),

hormônios, alquilfenóis e seus derivados, drogas ilícitas, sucralose e outros adoçantes artificiais, pesticidas; subprodutos provenientes de processos de desinfecção de águas (DPB, do inglês, *Desinfect by Products*); retardantes de chama bromados; compostos de substâncias per e polifluoroalquil; siloxanos; benzotriazóis; ácidos naftênicos; percloratos; dioxinas; nanomateriais; líquidos iônicos e microplásticos. Além desses, alguns microorganismos e toxinas de algas também são considerados contaminantes emergentes (MONTAGNER *et al.*, 2017).

Estas substâncias têm como via principal a água, ou seja, após serem usadas ou ingeridas pelas pessoas caem no sistema de esgoto, passam pelo sistema de tratamento e acabam em diferentes ecossistemas. O agravante em relação a esses contaminantes é que os métodos de tratamento utilizados no saneamento básico brasileiro não estão capacitados para tratá-los. No estudo elaborado por Pescara (2014), que analisou a eficiência dos processos empregados em cinco estações de tratamento de esgoto (ETEs) e duas de tratamento de água (ETAs) nas cidades de São José do Rio Preto e Campinas, para a remoção, entre outros, de hormônios endógenos, hormônios sintéticos e produtos de uso industrial, o pesquisador constatou que o índice de remoção nas ETAs analisadas foi de apenas 40% dos contaminantes.

4.2. Legislação incidente sobre Agrotóxicos no Brasil

No Brasil, a legislação relacionada aos agrotóxicos é abrangente e envolve diferentes órgãos reguladores. As principais leis e regulamentos que regem o uso de agrotóxicos no país incluem:

- Lei Federal nº 7.802/1989: Esta lei estabelece as diretrizes gerais sobre agrotóxicos no Brasil. Determina os critérios para registro, produção, comercialização, transporte, armazenamento, utilização e descarte de agrotóxicos. Também define as responsabilidades dos órgãos reguladores e dos usuários de agrotóxicos.
- Decreto Federal nº 4.074/2002: Regulamenta a Lei Federal nº 7.802/1989.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA): A ANVISA é responsável pela avaliação toxicológica dos agrotóxicos, analisando os riscos à saúde humana. Estabelece os critérios para registro, reavaliação e controle dos agrotóxicos, além de definir os limites máximos de resíduos permitidos nos alimentos.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA): O MAPA é responsável pelo registro e fiscalização dos agrotóxicos, bem como pela definição

de critérios técnicos para sua utilização. Também estabelece os períodos de carência, que é o intervalo entre a aplicação do agrotóxico e a colheita dos alimentos.

- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA): O IBAMA é responsável pela avaliação dos impactos ambientais dos agrotóxicos, considerando os riscos para os ecossistemas terrestres e aquáticos. Emite autorizações para o uso de agrotóxicos em áreas sensíveis, como próximo a corpos d'água.

A Lei Federal nº 7.802/1989 e o Decreto Federal nº 4.074/2002 são os principais atos normativos da legislação de agrotóxicos. O foco das atenções concentra-se sobre eles, pois todos os assuntos ou temas regulamentados por atos hierarquicamente inferiores, obrigatoriamente, devem segui-los (BRESSAN, 2015).

O artigo 2º da Lei Federal nº 7.802/1989 define como agrotóxico e componentes:

a) os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens ou na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e, também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos;

b) substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento;

II - componentes: os princípios ativos, os produtos técnicos, suas matérias-primas, os ingredientes inertes e aditivos usados na fabricação de agrotóxicos e afins (BRASIL, 1989).

Além dessas leis e órgãos reguladores, existem normas e instruções complementares que detalham procedimentos e requisitos específicos para o registro, uso e comercialização de agrotóxicos. Também são promovidas ações de monitoramento e fiscalização para garantir o cumprimento das regulamentações.

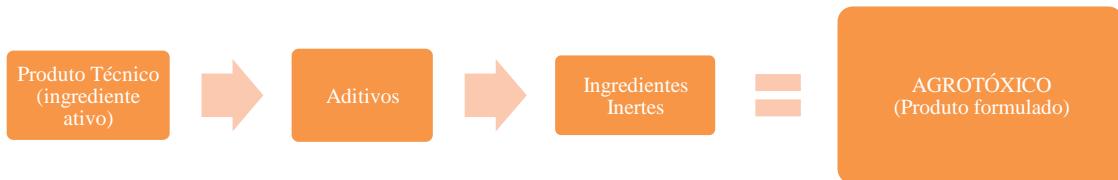
As Instruções Normativas Conjuntas (INC) são muito utilizadas, pois a Lei Federal nº 7.802/1989 definiu competências conjuntas entre os Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Ministério da Saúde (MS) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA). Portanto, são assim nomeadas uma vez que a regulamentação é definida de forma conjunta pelos três ministérios. Quando o assunto é regulamentado apenas pelo Ministério da

Agricultura, os atos normativos complementares mais utilizados na regulamentação dos agrotóxicos são a Instrução Normativa (IN), a Portaria e o Ato (BRESSAN, 2015).

O artigo 1º inciso XXXIII do Decreto Federal nº 4.074/2002 define quanto a produção de agrotóxicos, sendo este o processo de natureza química, física ou biológica para obtenção de agrotóxicos, seus componentes e afins (BRASIL, 2002). Já o termo fabricante é utilizado para os estabelecimentos que produzem componentes (princípio ativo, produto técnico, matérias primas, ingrediente inertes e aditivos utilizados na fabricação de agrotóxicos e afins). O formulador é quem de fato, produz os agrotóxicos ou afins, e o manipulador é o estabelecimento autorizado a fracionar e reembalar os agrotóxicos ou afins (BRESSAN, 2015).

Basicamente, a formulação de um agrotóxico ou afim, compreende a mistura do produto técnico, que possui o ingrediente ativo, com os aditivos e ingredientes inertes. Entretanto, todos estes componentes devem constar nos documentos aprovados na ocasião do registro, por exemplo, no Informe de Avaliação Toxicológica (IAT), emitido pela ANVISA. O formulador só poderá formular o agrotóxico utilizando os componentes registrados ou aprovados, que também devem estar presentes na formulação na quantidade e proporções aprovadas (BRESSAN, 2015). O fluxograma a seguir ilustra basicamente o que seria a mistura para a formulação de um agrotóxico ou afim:

Figura 4-1- Fluxograma da formulação de um Agrotóxico



Fonte: Bressan, 2015 (adaptado pela autora).

4.3. Legislação incidente sobre Agrotóxicos em Minas Gerais

Em Minas Gerais, assim como em todo o Brasil, o uso de agrotóxicos é regulamentado por Leis Federais e Estaduais. O estado possui uma significativa atividade agrícola, e o uso de agrotóxicos é uma prática comum na produção agrícola para controlar pragas, doenças e plantas daninhas.

A legislação que regula o uso de agrotóxicos em Minas Gerais segue as diretrizes estabelecidas pela legislação nacional, como a Lei Federal nº 7.802/1989 e as regulamentações dos órgãos responsáveis, como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

No estado, compete ao Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), órgão vinculado à Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA), a fiscalização sobre o comércio de agrotóxicos em Minas Gerais. Cabe ao órgão, verificar o cadastro dos produtos à venda, as condições de armazenamento, as embalagens e se a venda foi feita mediante receita agronômica. A fiscalização prossegue nas etapas de transporte, uso e devolução das embalagens vazias desses produtos (IMA, s.d). Todo agrotóxico ou afim, destinado ao uso agrícola ou a proteção de florestas plantadas para ser comercializado, armazenado e utilizado em Minas Gerais, deve ser cadastrado no IMA e registrado nos órgãos competentes.

A Fundação Ezequiel Dias (FUNED) trabalha em conjunto com a ANVISA para monitorar a presença de resíduos de agrotóxicos em alimentos e água (SES, 2023), através do seu Laboratório de Resíduos de Agrotóxicos (LRA), fazendo parte do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA).

É importante ressaltar que o uso adequado de agrotóxicos em Minas Gerais e em qualquer lugar do Brasil, requer o cumprimento das boas práticas agrícolas e o respeito às recomendações de uso dos produtos, como a dosagem, o tempo de carência e as condições de aplicação. Além disso, é fundamental promover a conscientização sobre os riscos e os impactos dos agrotóxicos, incentivando práticas agrícolas sustentáveis, como a adoção de técnicas de controle integrado de pragas, o manejo adequado do solo e o uso de alternativas menos tóxicas.

4.4. Classificação dos Agrotóxicos

Os agrotóxicos podem ser classificados de acordo com o organismo alvo e grupo químico, toxicidade e periculosidade ambiental (KARAM *et al.*, 2014).

- Organismo alvo e grupo químico:**

São classificados em inseticidas (ação de combate a insetos, larvas e formigas), fungicidas (combate a fungos), herbicidas (ação sobre plantas invasoras), raticidas (combate a roedores),

acaricidas (ação sobre diferentes ácaros), nematicidas (controle de nematoides), fumigantes (controle de pragas e bactérias), moluscicidas (combate de moluscos), etc.

- **Toxicidade:**

São classificados pela ANVISA de acordo com sua toxicidade pela perspectiva de seus efeitos agudos. Para o Ministério da Saúde, os produtos são baseados na DL₅₀ oral das formulações líquidas ou sólidas. Já para a Organização Mundial da Saúde – OMS, a classificação toxicológica é baseada na DL₅₀ em ratos, oral e dérmica, por mg/kg de peso, das formulações líquidas e sólidas.

Com a aprovação do novo marco regulatório dos agrotóxicos, a ANVISA publicou em 1º de agosto de 2019, através da Resolução nº 2.080, a reclassificação toxicológica dos produtos formulados, ampliando de quatro para cinco as categorias da classificação toxicológica, além da inclusão do item “não classificado”. Desde então, o Brasil passou a adotar os parâmetros de classificação toxicológica com base nos padrões do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (*Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals – GHS*). Na Figura abaixo é ilustrada a classificação dos produtos.

Figura 4-2 - Classificação toxicológica dos Agrotóxicos – Padrão GHS.

CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4	CATEGORIA 5	NÃO CLASSIFICADO
EXTREMAMENTE TÓXICO	ALTAMENTE TÓXICO	MODERAMENTE TÓXICO	POUCO TÓXICO	IMPROVÁVEL DE CAUSAR DANO AGUDO	NÃO CLASSIFICADO
PICTOGRAMA					
				Sem símbolo	Sem símbolo
PALAVRA DE ADVERTÊNCIA	PERIGO	PERIGO	PERIGO	CUIDADO	Sem advertência
CLASSE DE PERIGO					
Oral	Fatal se ingerido	Fatal se ingerido	Tóxico se ingerido	Nocivo se ingerido	Pode ser perigoso se ingerido
Dérmica	Fatal em contato com a pele	Fatal em contato com a pele	Tóxico em contato com a pele	Nocivo em contato com a pele	Pode ser perigoso em contato com a pele
Inhalatória	Fatal se inalado	Fatal se inalado	Tóxico se inalado	Nocivo se inalado	Pode ser perigoso se inalado
COR DA FAIXA	Vermelho	Vermelho	Amarelo	Azul	Verde
	PMS Red 199 C	PMS Red 199 C	PMS Yellow C	PMS Blue 293 C	PMS Blue 293 C
					PMS Green 347 C

Fonte: ANVISA, 2019.

- **Periculosidade ambiental:**

Sob responsabilidade do IBAMA, os agrotóxicos são avaliados quanto ao potencial de periculosidade ambiental, por meio de dados físico-químicos e dados de toxicidade a

organismos não alvos de diversos níveis tróficos. Essa classificação segue o mesmo padrão da classe toxicológica, sendo: Classe I – Produto altamente perigoso; Classe II – Produto muito perigoso; Classe III – Produto medianamente perigoso e Classe IV – Produto pouco perigoso.

4.5. Características dos principais ingredientes ativos vendidos em Minas Gerais (ano base 2022) e seu comportamento no meio ambiente

- **2,4-D**

O 2,4-D (Ácido 2,4-diclorofenoxyacético) é um herbicida amplamente utilizado para o controle de plantas daninhas de folhas largas em cultivos agrícolas, pastagens, áreas não agrícolas e paisagismo. Possui a fórmula química $C_8H_6Cl_2O_3$ e é registrado no CAS sob o nº 94-75-7.

O ácido livre é usado como herbicida. Outras formas do 2,4-D que contabilizam nove formas (sais e ésteres), são componentes ativos sozinhos ou combinados com outros ingredientes em vários produtos comerciais de uso agrícola e não agrícola (CETESB, 2022). No Brasil, o uso agrícola, é autorizado nas culturas de algodão, arroz, aveia, café, cana-de-açúcar, centeio, cevada, citros, duboisia, milheto, milho, pastagem, soja, sorgo, trigo e triticale. Na maior parte dessas culturas, pode ser utilizado como pré e pós-emergência. Também pode ser aplicado para erradicação da cultura de eucalipto. Já o uso não agrícola é autorizado nas capinas químicas em áreas não agrícolas, não florestais e não urbanas, para aplicação ao longo de cercas, aceiros, rodovias, ferrovias, faixa sob rede de alta tensão e passagens de oleoduto (ANVISA, 2022).

Segundo CETESB (2022), o 2,4-D pode ser liberado no ar durante a sua fabricação e em aplicações por *spray*. A alta mobilidade no solo, demonstra potencial para a contaminação da água subterrânea, podendo também atingir águas superficiais devido as seguintes condições: uso direto próximo ao ambiente aquático; por escoamento, devido a erosão do solo; e quando é usado em plantas aquáticas. Os sais e ésteres do 2,4-D não são persistentes na maioria das condições ambientais e espera-se que sejam degradados rapidamente. No ar é removido por reações de foto-oxidação ou por precipitação com meia-vida menor que 1 dia. Na maioria dos solos, a meia-vida é de 4 a 7 dias, enquanto em solos ácidos a meia-vida pode ser de até 6 semanas. Nesses ambientes, o 2,4-D não permanece por muito tempo, já na água a degradação é lenta. Exceto em algumas algas, o 2,4-D não bioacumula em organismos aquáticos devido a sua rápida biodegradação.

De acordo com a reclassificação da ANVISA (2019), a maioria dos produtos à base de 2,4-D foram enquadrados na “Categoria 4 - Produto Pouco Tóxico”.

- **Acefato**

Classificado como inseticida e acaricida, do grupo químico organofosforado, é um ingrediente utilizado no controle de pragas agrícolas, especialmente insetos sugadores, como pulgões, moscas brancas e tripes. Possui a fórmula química $C_4H_{10}NO_3PS$ e é registrado no CAS sob o nº 30560-19-1.

Também é utilizado no controle de insetos domésticos, como formigas e ácaros (CETESB, 2020). No Brasil, o seu uso é permitido na aplicação foliar nas culturas de algodão, amendoim, batata, cebola, cenoura, citros, feijão, melão, milho, soja e tomate rasteiro com fins industriais, e no tratamento de sementes de algodão e feijão destinados ao plantio (ANVISA, 2022).

Em relação ao comportamento no ambiente (CETESB, 2020), o principal processo de degradação do acefato no solo é o metabolismo aeróbio, com meia-vida menor que 2 dias sob condições apropriadas de uso do inseticida, produzindo metamidofós. O inseticida é estável a hidrólise, exceto em pH alto (meia-vida de 18 dias em pH 9). O acefato não é persistente em sedimento argiloso anaeróbio (meia-vida de 6,6 dias). Os principais produtos de degradação sob condições anaeróbias são dióxido de carbono e metano. O acefato possui alta solubilidade em água e apresenta alta mobilidade em condições experimentais. Contudo, espera-se que não ocorra lixiviação para a água subterrânea devido a não persistência em condições aeróbias.

Na reclassificação da ANVISA (2019), a maioria dos produtos à base de acefato foram enquadrados na “Categoria 4 - Produto Pouco Tóxico”.

- **Atrazina**

É um herbicida do grupo químico das triazinas, utilizado para o controle de plantas daninhas em cultivos agrícolas. Possui a fórmula química $C_8H_{14}ClN_5$ e é registrado no CAS sob o nº 1912-24-9.

Segundo a ANVISA (2022), no Brasil, seu uso agrícola é permitido na aplicação foliar de gramado, pré-emergência na cultura de milheto, pós-emergência em pastagem, e pré e pós-emergência nas culturas de abacaxi, cana-de-açúcar, milho, pinus, seringueira, sisal, soja e sorgo. Também utilizada para uso não agrícola, em pós-emergência de plantas daninhas em capinas químicas para erradicação de vegetação infestante em áreas não agrícolas ao longo de

cercas, aceiros, margens de rodovias, oleodutos, leitos de ferrovias e faixa sob rede de alta tensão.

A atrazina é um composto polar, fracamente básico, estável, em função de seu anel heterocíclico. A sua solubilidade em água praticamente independe do pH da solução, embora a solubilidade aumente em soluções cujo pH seja menor que 2,0 (Javaroni *et al.*, 2016). É um composto considerado persistente, devido a sua solubilidade moderada e ao seu coeficiente de partição de sorção do solo ser baixo ($K_d = 3,7$ L/kg), não sendo facilmente adsorvido pelo solo e sendo considerado móvel (Sene *et al.*, 2010).

A maioria dos produtos à base de atrazina foram enquadrados na “Categoria 4 - Produto Pouco Tóxico” ou “Categoria 5 - Produto Improvável de causar dano agudo” na reclassificação da ANVISA (2019).

- **Glifosato**

O glifosato é um herbicida amplamente utilizado em todo o mundo devido à sua eficácia no controle de plantas daninhas. Possui a fórmula química $C_3H_8NO_5P$, é registrado no CAS sob o nº 1071-83-6. Já seu produto de degradação, o AMPA, ácido aminometilfosfônico, possui fórmula química CH_6NO_3P , sob o registro de CAS nº 1066-51-9.

Segundo CETESB (2022), trata-se de um herbicida sistêmico de amplo espectro, não seletivo e pós-emergente, que efetivamente mata ou suprime todos os tipos de plantas como gramíneas, plantas perenes, videiras, arbustos e árvores. Quando aplicado a taxas mais baixas age como regulador de crescimento de plantas e como dessecante. É destinado ao uso agrícola e não-agrícola (jardinagem, em margens de rodovias e ferrovias, áreas sob rede de transmissão elétrica, pátios industriais, oleodutos e aceiros) em todo o mundo, sendo registrado para uso em pelo menos 130 países.

No Brasil, seu uso agrícola é autorizado em várias culturas, dentre elas: abacate, abacaxi, acácia, açaí, algodão, ameixa, amendoim, arroz, aveia preta (dessecação), azevém (dessecação), banana, batata-doce, batata-yacon, beterraba, caju, caqui, cacau, café, cana-de-açúcar (maturação e pós-emergência), cará, carambola, cenoura, citros, coco, ervilha, feijão, feijão-caupi, figo, fumo, grão-de-bico, gengibre, goiaba, inhame, lentilha, maçã, mamão, mandioca, mandioquinha-salsa, mangaba, milho, nabo, nectarina, pastagem, pera, pêssego, rabanete, seringueira, soja (dessecação e pós-emergência), sorgo, trigo e uva. Também é usado em pastagem e em florestas de pinus e eucalipto (ANVISA, 2022).

Considera-se que o glifosato se ligue fortemente às partículas do solo, não sendo absorvido pelas raízes das plantas. É muito pouco metabolizado pelas plantas, sendo o principal metabólito o AMPA. Quando aplicado nas folhagens, transloca-se rapidamente para outras partes da planta, entretanto, os resíduos em ervas daninhas tratadas que passam para o solo não são absorvidos por outras plantas. A biodegradação microbiana ocorre no solo, no sedimento e na água, e o principal produto de biodegradação é o AMPA, que também é biologicamente biodegradável com liberação de dióxido de carbono. Em condições aeróbias, a degradação ocorre mais rapidamente do que em condições anaeróbias. A meia-vida de biodegradação em solo é muito variável, sendo de alguns dias até vários meses, e na água, a meia-vida está entre 1,5 e 130 dias. Na água superficial, o glifosato é quimicamente estável e não sofre degradação fotoquímica. A baixa mobilidade no solo indica potencial mínimo para a contaminação da água subterrânea, no entanto o glifosato pode atingir águas superficiais e subsuperficiais após uso direto próximo a ambiente aquático ou por escoamento ou lixiviação de aplicações terrestres. (CETESB, 2022).

De acordo com a reclassificação da ANVISA (2019), a maioria dos produtos à base de glifosato foi enquadrada na “Categoria 5 - Produto Improvável de causar dano agudo”.

- **Mancozebe**

Classificado como fungicida e acaricida de amplo espectro, do grupo químico Alquilenobis (ditiocarbamato), é um ingrediente utilizado na agricultura para o controle de doenças fúngicas em diversas culturas. Possui a fórmula química $(C_4H_6N_2S_4Mn)_x (Zn)_y$ e é registrado no CAS sob o nº 8018-01-7.

É autorizado no Brasil para uso agrícola (ANVISA, 2022) em mais de 50 culturas para aplicação foliar, dentre elas: abacate, alface, algodão, aveia, banana, brócolis, cacau, café, cana-de-açúcar, cebola, couve, espinafre, feijão, goiaba, mamão, manga, milho, pimentão, soja, sorgo, uva, etc.

Por ter persistência ambiental curta, este fungicida é utilizado globalmente, e no Brasil classifica-se como o fungicida mais utilizado. É geralmente instável em meio alcalino ou ácido, bem como em sistema biológicos, se decompondo rapidamente em água e ambiente aeróbio. A degradação pode ocorrer durante a manufatura ou armazenamento do produto formulado, na cultura após o tratamento e, principalmente, durante o processamento do alimento (WHO, 1988).

Diversos estudos têm apontado os impactos dos pesticidas citados e muitos outros nos diferentes compartimentos ambientais. O uso desses ingredientes ativos requer atenção e cuidado, seguindo as recomendações e regulamentações adequadas. O monitoramento e a adoção de práticas sustentáveis são essenciais para minimizar os impactos no meio ambiente e na saúde humana.

Para o INCA (2023) as formas de exposição aos ingredientes ativos incluem a inalação, o contato dérmico ou oral durante a manipulação, aplicação e preparo do aditivo químico (CDC, 2009), com destaque para os trabalhadores da agricultura e pecuária, das empresas dedetizadoras, de transporte e comércio de agrotóxicos e de indústrias de formulação destes produtos (LONDRES, 2012). Além disso, no ambiente, a contaminação pode ocorrer através de pulverizações aéreas que causam a dispersão dessas substâncias pelo meio ambiente contaminando as áreas e atingindo a população, pelo consumo de alimentos e água contaminados e contato com roupas dos trabalhadores com os agrotóxicos.

Na reclassificação toxicológica da ANVISA (2019), a maioria dos produtos à base de mancozebe foi enquadrada na “Categoria 5 - Produto Improvável de causar dano agudo.”.

5. METODOLOGIA

5.1. Caracterização da área de estudo

O Estado de Minas Gerais localiza-se na região Sudeste do Brasil, ocupando cerca de 6,9% do território brasileiro. Segundo o IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022) o Estado possui uma extensão territorial de aproximadamente 586.513.983 km², sendo constituído por 853 municípios. As principais culturas produzidas no Estado, na safra de 2021/2022, segundo o balanço da produção mineira (Sistema FAEMG, 2022), são: Café (22 milhões de sacas), Cana-de-açúcar (67,5 milhões de toneladas), Milho (7,68 milhões de toneladas), Soja (7,59 milhões de toneladas), Batata (1,29 milhão de toneladas), Laranja (1,09 milhão de toneladas), Banana (835,4 mil toneladas), Tomate (557,9 mil toneladas) e Algodão (110,7 mil toneladas). Minas Gerais é o maior produtor de café do Brasil, segundo dados da Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA (2023) e o terceiro maior produtor de cana-de-açúcar, responsável por 11,8% da produção nacional, segundo maior na produção de açúcar (12,2%) e quarto em etanol (10,9%), segundo o balanço do Sistema FAEMG (2022).

Os recursos hídricos em Minas Gerais possuem grande representatividade em nível nacional, pois abrangem importantes bacias hidrográficas, dentre elas: Bacia do Rio São Francisco, Bacia do Rio Grande, Bacia do Rio Paranaíba, Bacia do Rio Doce, Bacia do Rio Jequitinhonha, Bacia do Rio Pardo, Bacia do Rio Paraíba do Sul, Bacia do Rio Mucuri e Bacia do Rio São Mateus, além de outras que ocupam menores extensões, de acordo com os dados do IDE-SISEMA (2020). Essas bacias desempenham um papel estratégico como recurso hídrico para o desenvolvimento do Estado e do país como um todo, sendo essenciais para diversas atividades, como indústria, mineração, geração de energia hidrelétrica, irrigação, drenagem, agricultura, pecuária, piscicultura e turismo.

Segundo os dados da SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2022), Minas Gerais possui aproximadamente 82,5% da população total com acesso à água potável. O Estado possui 3.430 captações, que englobam pontos subterrâneos e superficiais, além de 917 estações de tratamento de água.

5.2. Levantamento dos agrotóxicos comercializados no Estado de Minas Gerais

Para o levantamento dos agrotóxicos mais vendidos em Minas Gerais, foi utilizada a base do IBAMA (2023), sendo considerados para discussão neste estudo os 05 ingredientes ativos mais vendidos no ano de 2022, à saber: 2,4-D, acefato, atrazina, glifosato e mancozebe. Nesta página do IBAMA, são apresentadas informações consolidadas acerca da quantidade de agrotóxicos comercializados em todo o território nacional, considerando a série histórica de 2009 a 2022. As informações de comercialização são apresentadas em formato de painel BI (*business intelligence*) e relatórios, e os dados disponibilizados incluem informações como: vendas por Estados, classe de uso, periculosidade ambiental, entre outras classificações.

5.3. Obtenção das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos

Para a obtenção das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, foram consultados dois *websites*, sendo eles: IUPAC - *International Union of Pure and Applied Chemistry* (2023), que disponibiliza através do PPDB - *Pesticides Properties DataBase*, informações sobre a identidade química dos pesticidas, os dados físico-químicos, de saúde humana e ecotoxicológicos e o PubChem (2023), que apresenta a maior coleção mundial de informações químicas de acesso gratuito. Os dados podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 5-1 – Propriedades físico-químicas dos pesticidas

IA	T _{1/2} (dias)	Koc (mL/g)	Solubilidade (mg/L)
2,4-D	4,4	39,3	24.300
Acefato	3	302	790.000
Atrazina	75	100	35
Glifosato	16,1	1.424	100.000
Mancozebe	0,05	998	6,2

Fonte: IUPAC (2023).

5.4. Avaliação do potencial de contaminação dos agrotóxicos – Método de GOSS e Índice de GUS

Para avaliar o potencial de contaminação das águas superficiais, foi utilizado o método de Goss (1992), que considera as seguintes características do agrotóxico: tempo de meia-vida no solo (T_{1/2} solo, em dias), o coeficiente de adsorção do agrotóxico à matéria orgânica do solo

(Koc) e a solubilidade em água (mg/L). Nesse método, as propriedades dos agrotóxicos são comparadas com um conjunto de critérios, que classificam o risco de contaminação em alto, médio e baixo em função do transporte de agrotóxicos adsorvidos em sedimentos e dissolvidos em água. Os critérios podem ser observados na **Tabela 5-2**.

O tempo de meia-vida no solo ($T_{1/2}$ solo) refere-se ao tempo que leva para que metade de uma substância seja degradada ou removida do solo. O Koc (coeficiente de adsorção do agrotóxico à matéria orgânica do solo), é uma medida que descreve a afinidade de uma substância química por material orgânico no solo. Ou seja, quanto maior o valor de Koc, maior é a afinidade da substância por material orgânico no solo, indicando uma menor mobilidade no ambiente aquático.

Tabela 5-2 – Critérios para risco de contaminação das águas superficiais por pesticidas

Potencial de transporte associado ao sedimento em suspensão			
	$T_{1/2}$ (dias)	Koc (mL/g)	Solubilidade (mg/L)
Alto potencial (APT)	≥ 40	≥ 1000	-
	≥ 40	≥ 500	$\leq 0,5$
Baixo potencial (BPT)	≤ 1	-	-
	≤ 2	≤ 500	-
	≤ 4	≤ 900	$\geq 0,5$
	≤ 40	≤ 500	$\geq 0,5$
	≤ 40	≤ 900	≥ 2
	Médio potencial (MPT) Compostos que não se enquadram nos critérios anteriores		
Potencial de transporte dissolvido em água			
	$T_{1/2}$ (dias)	Koc (mL/g)	Solubilidade (mg/L)
Alto potencial (APT)	> 35	< 100.000	≥ 1
	> 35	≤ 700	$\geq 10 \leq 100$
Baixo potencial (BPT)	-	≥ 100.000	-
	≤ 1	≥ 1000	-
	< 35	-	$< 0,5$
Médio potencial (MPT)	Compostos que não se enquadram nos critérios anteriores		

Fonte: Goss (1992) e Cabrera *et al.*, (2008).

Para avaliar o potencial de contaminação das águas subterrâneas, foi utilizado o índice GUS (*Groundwater Ubiquity Score*), proposto por Gustafson (1989), através da aplicação das características físico-químicas dos agrotóxicos numa equação logarítmica para se avaliar o seu potencial de lixiviação. As características utilizadas são o tempo de meia-vida no solo ($T_{1/2}$ solo, em dias) e o coeficiente de adsorção do agrotóxico à matéria orgânica do solo (Koc), conforme pode ser visualizado na equação a seguir.

$$\text{GUS} = (\log t_{1/2} \text{ no solo}).[4 - \log (\text{Koc})]$$

(1)

A partir do resultado, o potencial de lixiviação é classificado conforme a tabela abaixo:

Tabela 5-3 – Classificação do risco de contaminação da água subterrânea de acordo com o índice de GUS (1989)

Valor	Potencial de lixiviação
< 1,8	Não sofrem lixiviação
1,8 - 2,8	Zona de Transição
≥ 2,8	Provável lixiviação

Fonte: Gustafson (1989) e Cabrera *et al.*, (2008).

5.5. Avaliação dos resultados de potabilidade para o ano de 2022

Para essa análise, foram considerados os dados amostrais constantes no SISÁGUA (BRASIL, 2023) para o estado de Minas Gerais, tendo como referência o ano de 2022. O SISÁGUA é um instrumento do VIGIAGUA - Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. Os resultados foram comparados com os padrões de potabilidade do Brasil (Portaria nº 888/2021), USA (EPA, 2009), União Europeia (DIRETIVA (UE) 2020/2184) e OMS – Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011). Os valores máximos permitidos (VMP) em cada país podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 5-4 – Padrões de Potabilidade nacionais e internacionais

IA	Brasil ($\mu\text{g/l}$)	EUA ($\mu\text{g/l}$)	União Europeia* ($\mu\text{g/l}$)	OMS ($\mu\text{g/l}$)
2,4-D	30	70	0,1	30
Acefato	7 ¹	-	-	-
Atrazina	2 ²	3	-	100
Glifosato	500 ³	700	0,1	-
Mancozebe	8 ⁴	-	-	-

Legenda: (1) Metamidofós + Acefato; (2) Atrazina + S-Clorotriazina; (3) Glifosato + AMPA; (4) Mancozebe + ETU. *O limite da soma total de pesticidas detectados e quantificados é de 0,5 $\mu\text{g/l}$ na União Europeia.

De acordo com a **Tabela 5-4**, foi possível observar a discrepância dos valores máximos permitidos (VMP) entre os diferentes países, sendo verificado ainda que o Brasil permite o uso de ingredientes ativos banidos ou não regulamentados nesses outros territórios. Além disso, o Brasil aponta para limites extremamente superiores aos permitidos na União Europeia, considerando limites somente para a avaliação individual dos ingredientes ativos, independentemente da quantidade de compostos presentes na amostra ou da mistura desses ingredientes. Já os valores permitidos nos EUA para os ingredientes que lá são regulamentados, são mais permissivos quando comparados ao Brasil.

5.6. Levantamento dos principais impactos no meio ambiente

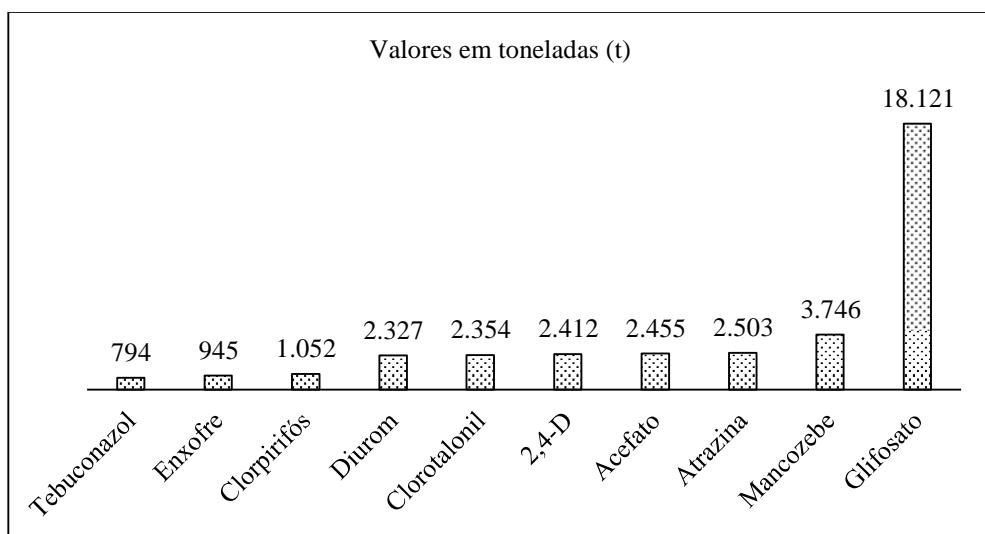
Para este levantamento, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os Ingredientes Ativos discutidos, para que, desta forma, fossem identificados possíveis impactos nos diferentes compartimentos ambientais. As buscas foram realizadas em diferentes *websites*, sendo estes: SIBiUSP, PBi (Portal de Busca Integrada), Dedalus, Periódicos Capes, *Scielo*, *Science Direct*, *PubMed*, entre outros. As palavras chaves foram pesquisadas em inglês e português, e incluíram os termos: “*glyphosate*”, “*atrazine*”, “*2,4-D*”, “*mancozeb*”, “*acephate*” e “*impacts*”.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Ingredientes ativos mais vendidos em Minas Gerais

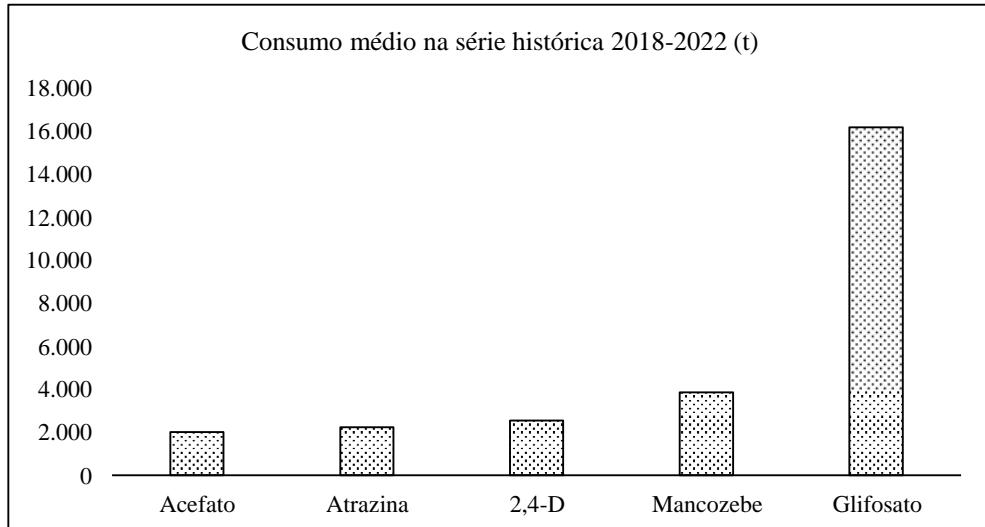
De acordo com os dados do IMA (2023), estão autorizados para comercialização no Estado de Minas Gerais cerca de 2.021 formulações atualmente (novembro de 2023), sendo esses produtos, de diferentes ingredientes ativos, de combinações entre eles ou até mesmo de um mesmo ingrediente ativo com marca comercial diferente. Desta forma, com o intuito de trazer objetividade ao presente estudo, foram selecionados para discussão apenas 05 ingredientes ativos, utilizando como critério de seleção os 05 mais vendidos no ano de 2022. Na **Figura 6-1** são apresentados os 10 ingredientes ativos mais vendidos no ano de 2022 e na **Figura 6-2**, a média da quantidade consumida dos 05 ingredientes ativos mais vendidos em 2022, com base na série histórica de 2018 a 2022 (últimos 5 anos).

Figura 6-1 – Os 10 Ingredientes ativos mais vendidos em Minas Gerais no ano de 2022 (t)



Fontes dos dados: IBAMA (2023). Elaborado pela autora.

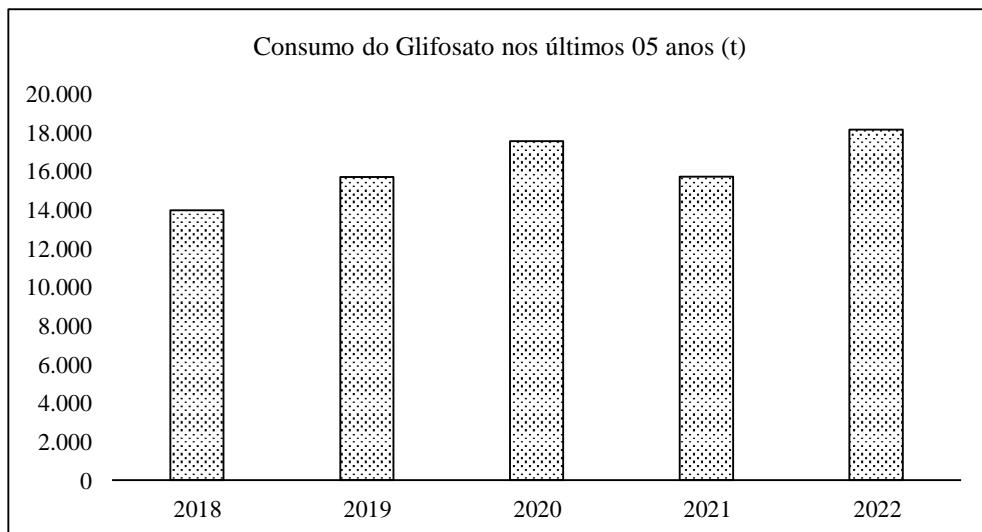
Figura 6-2 – Consumo médio (t) dos 05 Ingredientes ativos mais vendidos em 2022 na série histórica de 2018 a 2022



Fontes dos dados: IBAMA (2023). Elaborado pela autora.

Pela análise da **Figura 6-1**, verifica-se que os ingredientes ativos mais vendidos no ano de 2022 no Estado de Minas Gerais foram, em ordem de toneladas (t): glifosato, mancozebe, atrazina, acefato e 2,4-D, sendo todos esses com valores superiores a 2.000 t. Ao se analisar a média dos últimos 05 anos (**Figura 6-2**), nota-se uma média superior a 16.000 t para o ingrediente ativo mais vendido, o glifosato.

Figura 6-3 – Consumo do glifosato, em toneladas nos últimos 05 anos



Fontes dos dados: IBAMA (2023). Elaborado pela autora.

O glifosato lidera o *ranking* como o ingrediente ativo mais vendido em Minas Gerais e no Brasil. De acordo com a **Figura 6-3**, verifica-se uma comercialização ascendente até o ano de 2020, onde o consumo alcançou 17.530 t. Em 2021, houve um decréscimo do consumo do ingrediente, que alcançou 15.693 t. Entretanto, tal comportamento não se repetiu para o ano

seguinte (2022), o qual apresentou o maior consumo do ingrediente ativo (18.121 t), ao se considerar a série histórica de 2018-2022.

Destaca-se que alguns desses ingredientes ativos não são permitidos na União Europeia devido aos seus efeitos nocivos na saúde humana e no meio ambiente, como é o caso do acefato, atrazina e mancozebe. Entretanto, são produzidos e exportados para outros territórios onde essas substâncias são regulamentadas com menos rigor, como o Brasil. Outro fato importante, é que o glifosato, o ingrediente ativo mais utilizado no Brasil, foi classificado como “provavelmente cancerígeno para humanos”, pela IARC - Agência Internacional de Pesquisa em Câncer da OMS em 2015. No Brasil, entretanto, a ANVISA reavaliou o risco do glifosato em 2019 e concluiu que o ingrediente ativo não causa mutações no DNA, no código genético humano (não mutagênico), nem nos embriões ou fetos (teratogênico), não é cancerígeno (carcinogênico) e não é desregulador endócrino (não afeta o sistema hormonal), não afetando a reprodução, conforme Nota Técnica nº 12/2020/SEI/CREAV/GEMAR/GGTOX/DIRE3/ANVIS (BRASIL, 2020). Já a União Europeia, prorrogou recentemente por mais 10 anos a autorização de uso do ingrediente ativo (Regulamento de Execução [UE] 2023/2660 da Comissão, de 28 de novembro de 2023).

Segundo o Atlas do Agrotóxicos, lançado na versão em português pela Fundação Heinrich Böll (2023), as *commodities* são as principais culturas consumidoras de agrotóxicos no Brasil. Os cultivos de soja, cana-de-açúcar, milho e algodão respondem juntos, por cerca de 83% do consumo de pesticidas no país e a cultura do café consome cerca de 1%. O aumento no consumo pode ser relacionado, especialmente, ao aumento da área cultivada com estas culturas destinadas à criação animal e à produção de etanol. O Brasil é o maior exportador mundial de soja, de carne bovina, de carne de frango e de açúcar, além de ser o segundo maior exportador de grãos do mundo. Outro fato alarmante, é que o consumo ascendente de agrotóxicos no Brasil acompanha o aumento das áreas cultivadas com organismos geneticamente modificados.

6.2. Potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas

De acordo com o método de Goss (1992), em relação ao transporte para a água superficial associado ao sedimento, os ingredientes ativos 2,4-D, acefato e mancozebe demonstraram baixo potencial de transporte, enquanto a atrazina e o glifosato, não se enquadram em nenhuma das regras propostas, sendo classificados como médio potencial de transporte. Em relação ao transporte dissolvido em água, os ingredientes ativos 2,4-D, acefato, glifosato e mancozebe não

se enquadraram em nenhuma das regras propostas, sendo classificados como médio potencial de transporte, enquanto a atrazina, demonstrou alto potencial de transporte.

Tabela 6-1 – Potenciais de transporte para a água superficial dos ingredientes ativos mais utilizados em 2022

Potencial de transporte associado ao sedimento em suspensão	
2,4-D	BPT
Acefato	BPT
Atrazina	MPT
Glifosato	MPT
Mancozebe	BPT

Potencial de transporte dissolvido em água	
2,4-D	MPT
Acefato	MPT
Atrazina	APT
Glifosato	MPT
Mancozebe	MPT

Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados da IUPAC (2023).

O potencial de contaminação das águas subterrâneas de acordo com o índice de GUS (1989) e os dados da IUPAC (2023), apontaram 2,4-D com provável lixiviação (índice 3,82), atrazina na Zona de Transição (índice 2,57), e os demais com potencial nulo de lixiviação, sendo acefato com índice de 1,14, glifosato com índice de 0,21 e mancozebe com índice de -1,45. É importante ressaltar que este índice fornece apenas uma indicação geral de perigo com base nas propriedades físico-químicas das substâncias, e não leva em consideração as condições ambientais locais, a taxa de aplicação no campo, o momento da aplicação ou a formulação.

Pela análise dos dados e parâmetros físico-químicos dos ingredientes ativos estudados (IUPAC, 2023), observa-se que o 2,4-D (24.300 mg/L), o acefato (790.000 mg/L) e o glifosato (100.000 mg/L) apresentam altas solubilidades em água, indicando uma maior probabilidade de transporte para as águas e disseminação por meio delas. Compostos com essa propriedade podem ser removidos mais facilmente do solo, além de ser carreados pela chuva ou atividades de irrigação, por exemplo. Entretanto, a sorção ao teor de carbônico orgânico do solo (Koc) pode conferir ao glifosato maior aderência nesta matriz (1.424 mL/g), o que não sugere, necessariamente, que não haverá escoamento do composto para os demais compartimentos, já que outros fatores (textura, tipo do solo, aplicação em proximidade de corpos hídricos) também podem interferir no carreamento do pesticida. Ademais, ao se agregar as partículas do solo, o composto também pode chegar aos mananciais por erosão (Lewis *et al.* 2016).

Com base nos dados de IUPAC (2023), o 2,4-D e o acefato demonstram menores probabilidades de persistência no ambiente, já que a meia-vida de degradação desses ingredientes ativos no solo ($T_{1/2}$) ocorre em 4,4 e 3 dias, respectivamente. Contudo, a baixa afinidade pelo carbono orgânico do solo, principalmente do 2,4-D (39,3 mL/g), pode facilitar que o composto se movimente em direção às águas superficiais e subterrâneas.

A atrazina tende a persistir por mais tempo no solo ($T_{1/2}$ de 75 dias), além de possuir baixa solubilidade em água (35 mg/L) e moderada sorção ao carbono orgânico do solo (100 mL/g). Este comportamento aponta que o composto pode se acumular após aplicações repetidas, aumentando assim o risco de contaminação das águas. Já o mancozebe, possui baixo tempo de meia-vida no solo (0,05 dias) e solubilidade em água (6,2 mg/L), além de moderada sorção ao carbono orgânico do solo (998 mL/g).

Para Correia (2018), as propriedades do solo podem influenciar na transformação dos agrotóxicos. Por exemplo, solos com maiores taxas de infiltração e permeabilidade permitem que os compostos atinjam o lençol freático em menos tempo do que aqueles com textura mais fina. Porém, a rápida passagem através da zona não saturada reduz a probabilidade de degradação. Por outro lado, camadas impermeáveis interrompem seu movimento vertical.

6.3. Avaliação dos resultados de potabilidade no ano de 2022

Inicialmente, vale ressaltar que no Brasil, a vigilância e o controle de qualidade da água destinada ao consumo humano são regidos pelo Ministério da Saúde, através da Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021). A referida portaria inclui o monitoramento de 40 agrotóxicos semestralmente junto aos sistemas de abastecimento de água, que incluem captações superficiais e subterrâneas, e que foram definidos na Revisão do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 após debate e consulta pública (BRASIL, 2020). Para o monitoramento da vigilância da qualidade da água para consumo humano, segue-se a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo humano (BRASIL, 2016). A vigilância, orientada para a prevenção e investigação de riscos à saúde humana, é incumbência das secretarias municipais de saúde. Já o acompanhamento do controle da qualidade da água destinada à população é uma responsabilidade dos operadores dos sistemas de abastecimento de água. Esses operadores, que podem ser autarquias municipais, estaduais ou empresas privadas, devem desenvolver seus planos de monitoramento de

agrotóxicos e submetê-los à aprovação das secretarias municipais de saúde (BURSZTEJN e BENETTI, 2023).

Assim, foram avaliados os resultados das amostras coletadas no Estado de Minas Gerais, que contemplam o ano de 2022 e estão disponíveis no SISÁGUA (dados de controle abertos) com última atualização ocorrida em 10 dez. 2023, considerando os ingredientes ativos discutidos neste estudo e o monitoramento semestral realizado pelos prestadores de serviço (COPASA, COPANOR, NA) que incluem Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Soluções Alternativas Coletivas (SAC).

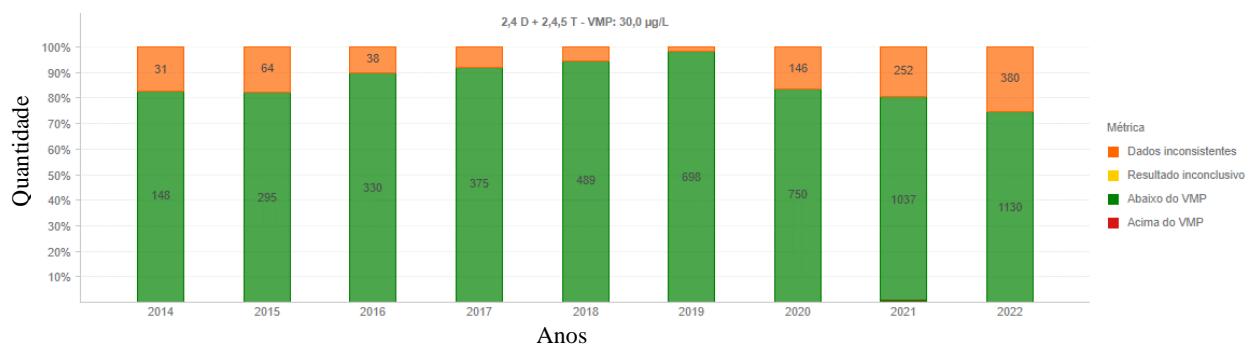
Para o ingrediente ativo 2,4-D, foram analisadas um total de 1.860 amostras no ano de 2022, conforme **Figura 6-4**. De acordo com a **Figura 6-5**, 1.130 amostras tiveram resultados abaixo do VMP (valor máximo permitido) para consumo humano (60,7%) que é de 30 µg/L, e 380 apresentaram inconsistência de dados (20,4% das amostras), ou seja, foram englobadas nessa classificação por se tratar de amostras com erro no preenchimento do resultado da análise, ou com informações incompletas para se avaliar o atendimento ao valor de referência. Outras 350 amostras analisadas (18,8%) são referentes a pontos de captação, e, portanto, não são avaliadas quanto ao seu enquadramento.

Figura 6-4 – Total de análises realizadas por ano (2,4 D + 2,4,5 T)



Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Figura 6-5 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (2,4 D + 2,4,5 T)

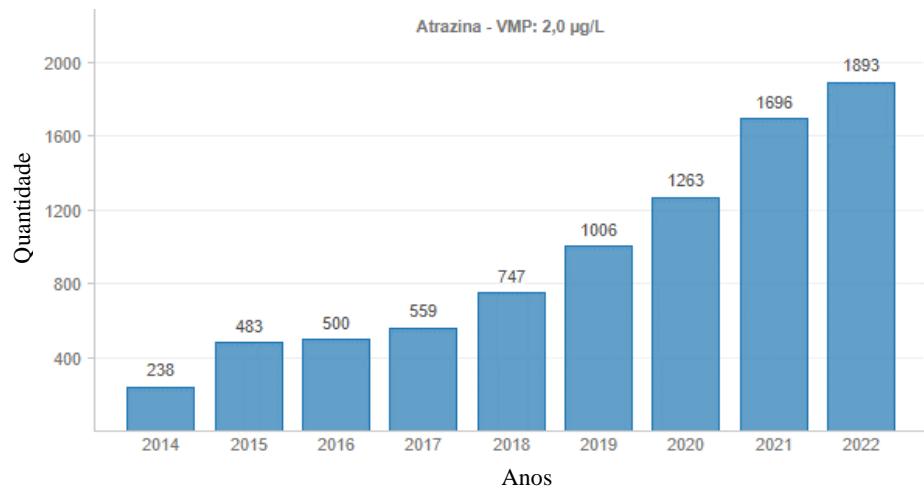


Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Pela análise dos dados disponíveis em tabela, ainda foi possível observar que, das amostras incluídas na classificação “abaixo do VMP”, 493 foram quantificadas (43,6%), cujos resultados variaram de 0,1 µg/L a 30,0 µg/L.

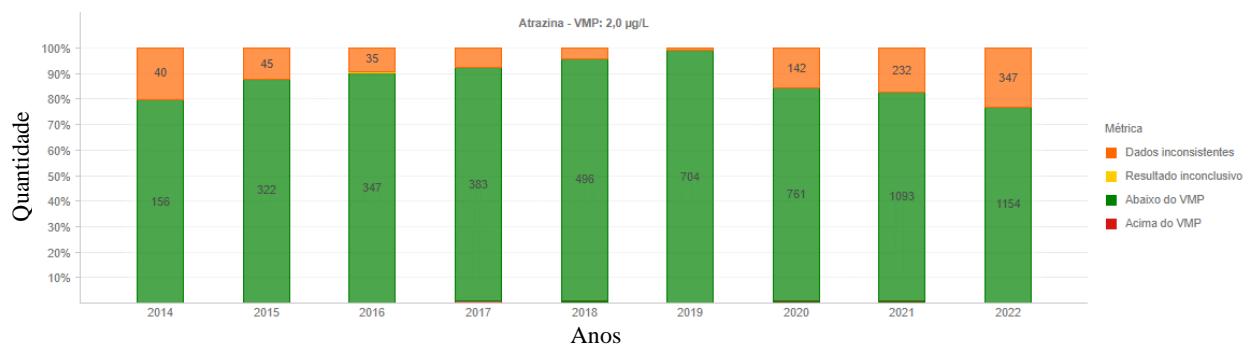
Para o ingrediente ativo atrazina, foram analisadas um total de 1.893 amostras para o ano de 2022, conforme **Figura 6-6**. De acordo com a **Figura 6-7**, 1.154 resultados ficaram abaixo do VMP para consumo humano (60,9%) que é de 2,0 µg/L, e 347 apresentaram inconsistência de dados (18,3% das amostras). O restante das amostras analisadas (392 – 20,7%) se referem a pontos de captação, não sendo avaliadas quanto ao seu enquadramento.

Figura 6-6 – Total de análises realizadas por ano (Atrazina)



Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Figura 6-7 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (Atrazina)

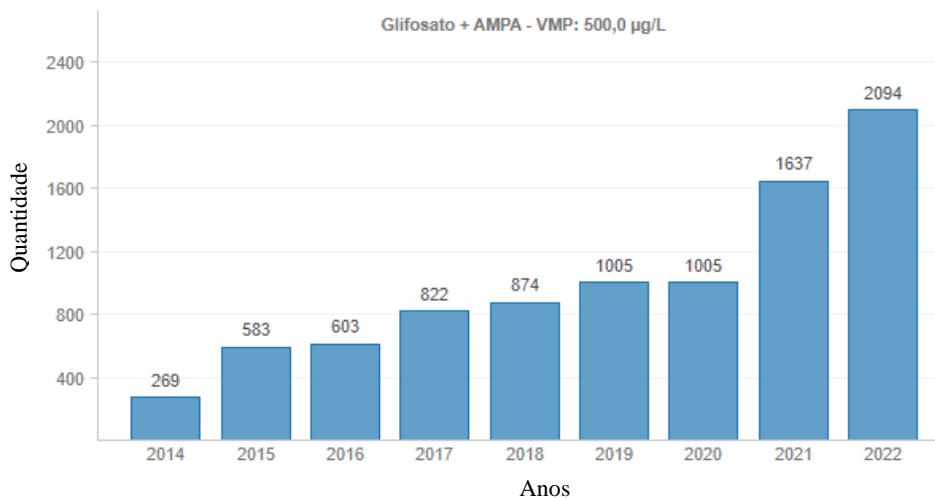


Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Pela análise dos dados disponíveis em tabela, foi possível observar ainda que das amostras incluídas na classificação “abaixo do VMP”, 553 foram quantificadas (47,9%), cujos resultados variaram de 0,001 µg/L a 2,0 µg/L.

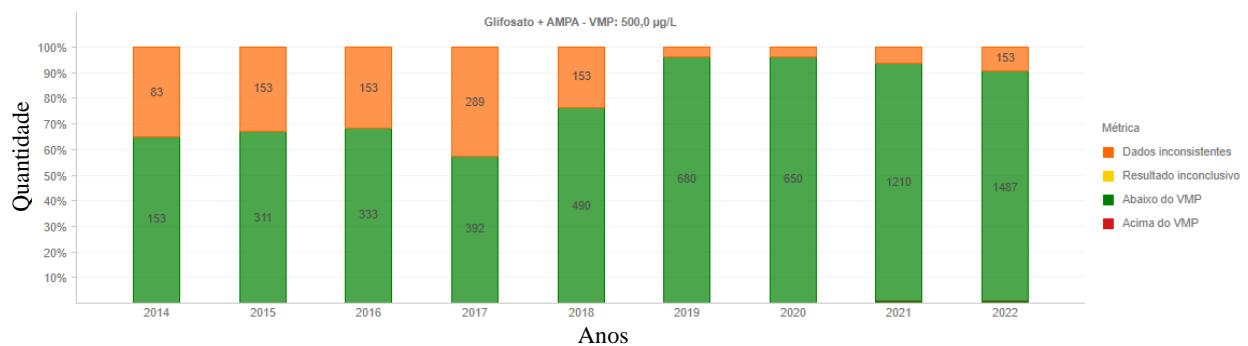
Para o ingrediente ativo glifosato, foram analisadas um total de 2.094 amostras para o ano de 2022, conforme **Figura 6-8**. De acordo com a **Figura 6-9**, 1.487 resultados ficaram abaixo do VMP para consumo humano (71%) que é de 500,0 µg/L, e 153 apresentaram inconsistência de dados (7,3% das amostras), ou seja, foram englobados nessa classificação por se tratar de amostras com erro no preenchimento do resultado da análise, ou com informações incompletas para se avaliar o atendimento ao valor de referência. Foram observadas ainda 02 amostras (0,1%) com resultados acima do VMP. As demais 452 amostras analisadas (21,6) são referentes a pontos de captação, e, portanto, não são avaliadas quanto ao seu enquadramento ao padrão de potabilidade.

Figura 6-8 – Total de análises realizadas por ano (Glifosato + AMPA)



Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Figura 6-9 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (Glifosato + AMPA)

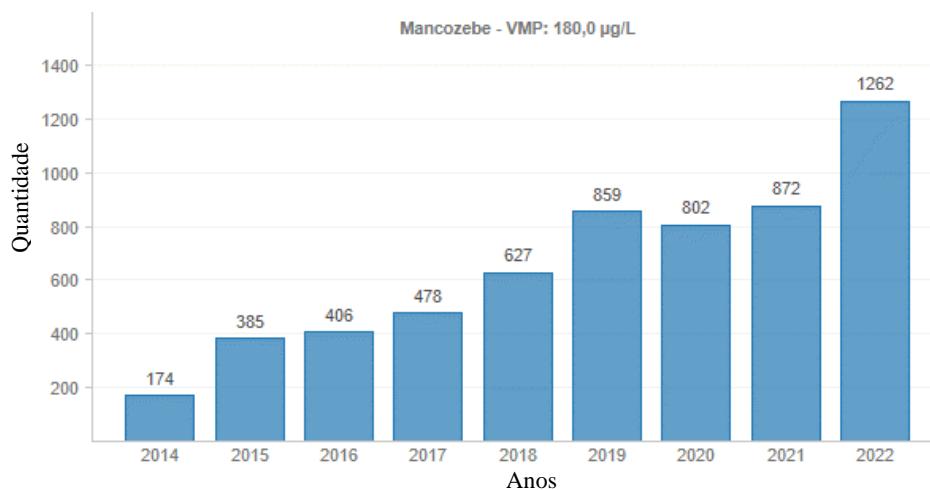


Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Pela análise dos dados disponíveis em tabela, verifica-se ainda que das amostras incluídas na classificação “abaixo do VMP”, 609 foram quantificadas (40,9%), cujos resultados variaram de 0,001 µg/L a 96,0 µg/L.

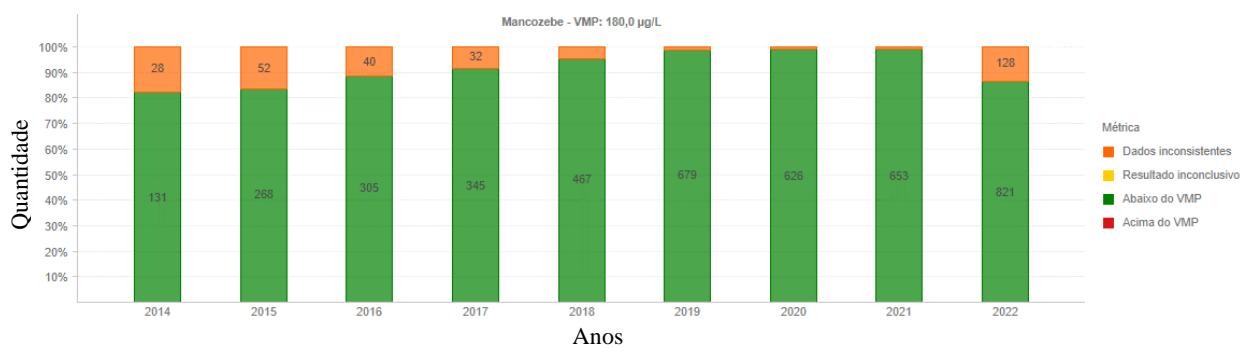
Para o ingrediente ativo mancozebe, foram analisadas um total de 1.262 amostras para o ano de 2022, conforme **Figura 6-10**. De acordo com a **Figura 6-11**, 821 resultados (65%) ficaram abaixo do VMP para consumo humano, considerando o VMP de 180,0 µg/L contemplado na Portaria nº 5/2017, e 128 apresentaram inconsistência de dados (10,1% das amostras). Outras 313 amostras (24,8%) são referentes a pontos de captação, não sendo englobadas em nenhuma barra dos gráficos disponibilizados.

Figura 6-10 – Total de análises realizadas por ano (Mancozebe)



Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Figura 6-11 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (Mancozebe)

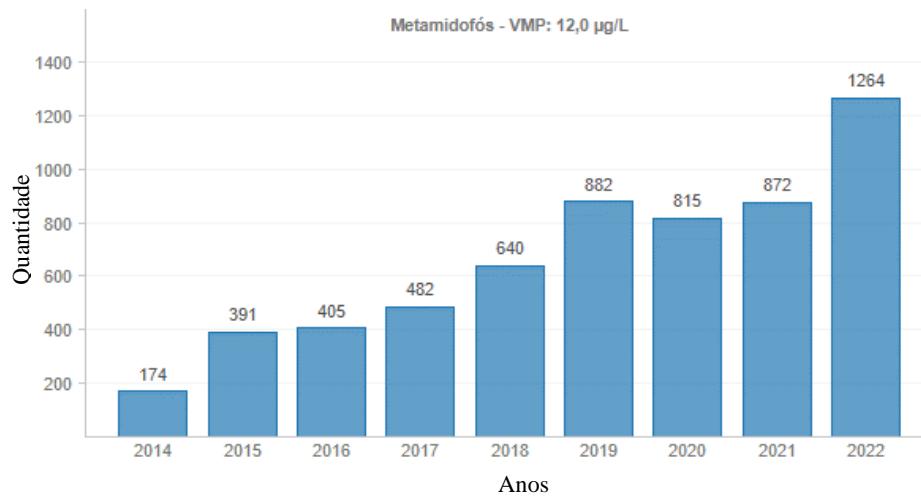


Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Verifica-se ainda que das amostras incluídas na classificação “abaixo do VMP”, de acordo com os dados disponíveis em tabela, 290 amostras foram quantificadas (35,3%), cujos resultados variaram de 0,001 µg/L a 8,0 µg/L.

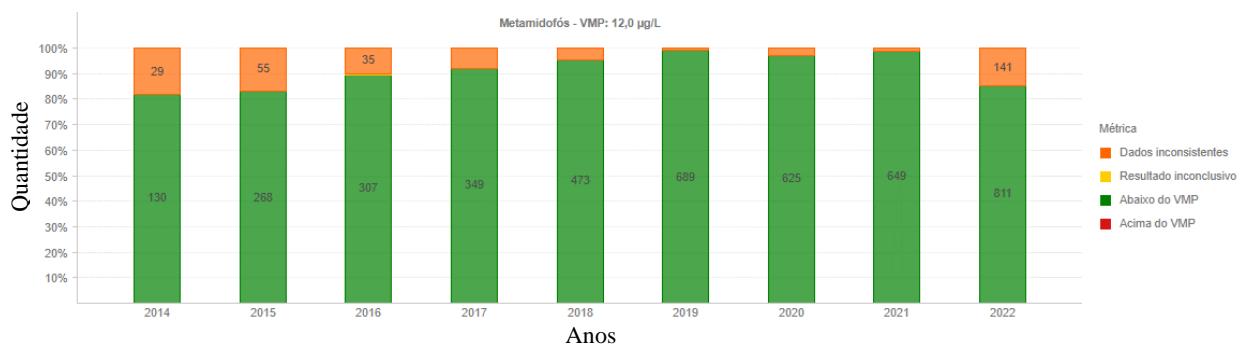
Em relação ao ingrediente ativo acefato, são disponibilizados os resultados do seu metabólito metamidofós, considerando o VMP de 12,0 µg/L contemplado na Portaria nº 5/2017. Foram disponibilizadas um total de 1.264 amostras para o ano de 2022, conforme **Figura 6-12**. De acordo com a **Figura 6-13**, 811 resultados ficaram abaixo do VMP para consumo humano (64,1%) e 141 apresentaram inconsistência de dados (11,1% das amostras). As demais 312 amostras analisadas (24,7%) são referentes a pontos de captação, e, portanto, não são avaliadas quanto ao seu enquadramento.

Figura 6-12 – Total de análises realizadas por ano (Metamidofós)



Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Figura 6-13 – Enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade (Metamidofós)



Fonte: Extraído de SISÁGUA em 10 dez. 2023.

Através dos dados disponíveis em tabela, observa-se que das amostras incluídas na classificação “abaixo do VMP”, 290 foram quantificadas (35,7%), cujos resultados variaram de 0,003 µg/L a 7,0 µg/L.

O cenário de dados disponíveis no SISÁGUA, expõe uma situação delicada em relação aos resultados que são disponibilizados pelos prestadores de serviço. Grande quantidade de dados é classificada como inconsistente, ou seja, se trata de amostras com erro no preenchimento do resultado da análise, ou com informações incompletas para se avaliar o atendimento ao valor de referência, além de não serem disponibilizadas informações sobre o enquadramento de vários resultados classificados como N/A, não sendo possível se obter a relevância desses dados.

É importante ressaltar que, no cenário de dados do SISÁGUA disponíveis em formato de tabela, as concentrações classificadas como menores que o Limite de Quantificação, podem não implicar em ausência de risco, mas em limitações nas técnicas analíticas.

Em relação aos padrões de potabilidade estabelecidos, há de se levar em consideração ainda, a discrepância de valores máximos permitidos (VMP) para as substâncias no Brasil em relação a outros países, principalmente aos limites permitidos na União Europeia. No Brasil, os limites costumam ser até milhares de vezes maiores, como por exemplo, para o glifosato, o VMP na água potável é cinco mil vezes maior do que na União Europeia, e para o 2,4-D, trezentas vezes maior. Outro fato preocupante, é a ineficácia do tratamento de água para consumo humano no Brasil em relação a alguns desses contaminantes, os quais são amplamente detectados na maioria das fontes de água disponibilizadas para a população.

Destaca-se que devido a extensa quantidade de dados disponibilizados em formato de “Tabela de resultados completa” do SISÁGUA, foram apresentados no presente estudo apenas

os quantitativos disponíveis e as principais informações referentes à pesquisa. No entanto, o acesso a base de dados completa pode ser realizada no endereço eletrônico: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/seidigi/demas/situacao-de-saude/vigiagua>.

6.4. Principais impactos no meio ambiente

É importante considerar que geralmente os ingredientes ativos dos agrotóxicos não permanecem apenas no local em que foram aplicados, podendo atingir os diferentes compartimentos ambientais (ar, solo e a água) por volatilização, infiltração, lixiviação ou por escoamento superficial e acabam por causar um desequilíbrio no ecossistema. Considera-se ainda que os impactos podem sofrer influência de características como o tipo de solo ou clima, o uso e ocupação do solo, além das propriedades físico-químicas dos próprios compostos. O Atlas dos Agrotóxicos (Fundação Heinrich Böll, 2023) traz à tona importantes discussões no contexto dos impactos associados à essas substâncias, que serão abordadas juntamente com outras publicações nos tópicos a seguir.

- Toxicidade para Organismos Aquáticos**

As substâncias podem entrar em corpos d'água por meio de escorrimento superficial ou lixiviação do solo, afetando organismos como peixes, invertebrados e organismos planctônicos, impactando os ecossistemas aquáticos.

A pesquisa de Sánchez (2018), identificou alterações histológicas no peixe *Jenynsia multidentata*, causadas por herbicidas à base de glifosato, sendo este um efeito severo ao longo do tempo. A principal alteração detectada no fígado foi degeneração lipídica, nas brânquias hiperplasia e no cérebro proliferação gilal.

Já Gaaied *et al.* (2020), investigaram os impactos da exposição aguda e subcrônica do 2,4-D na função do peixe *Danio rerio*, que exposto a uma dose baixa de 2,4-D (0,02 mg/L) apresentou comportamento de natação prejudicado e aqueles expostos a uma dose mais alta (0,32 mg/L) apresentaram deformidades na cauda.

Impactos no peixe *Danio rerio* também foram documentadas por Chin Tai *et al.* (2023) para atrazina, cuja pesquisa apontou impactos adversos no desenvolvimento da prole de peixe-zebra exposto ao herbicida durante a embriogênese. Um dos impactos foi o crescimento esquelético

retardado na progênie, além de hiperatividade no ensaio de resposta visual motora e vias moleculares chave alteradas na progênie larval.

Para acefato, na pesquisa de Liu *et al.* (2018), foi evidenciado que o organofosforado também pode causar o atraso no desenvolvimento embrionário do peixe-zebra (*Danio rerio*), além de malformações larvais e redução da tensão superficial do córion.

A mesma espécie foi estudada na pesquisa de Sandrin de Almeida *et al.* (2023), que demonstrou que o mancozebe também apresenta alto potencial tóxico para a espécie, apontando danos observáveis mesmo em concentrações permitidas por lei. Os embriões expostos ao pesticida apresentaram maior mortalidade, comprimento corporal reduzido e menor viabilidade celular, com todos os desfechos se apresentando de forma concentração-dependente. Na maior concentração, a mortalidade atingiu 16,67% da amostra, seguida de 8,33% a 180 µg/L. Os sobreviventes de todos os grupos expostos ao pesticida eram significativamente menores que os do grupo controle e a viabilidade celular foi significativamente reduzida a partir de 90 µg/L.

- **Efeitos sobre Organismos não-alvo**

Outro impacto é o Efeito sobre Organismos não-alvo, que pode incluir consequências diretas em insetos benéficos, como abelhas e outros polinizadores, os quais desempenham papéis fundamentais na manutenção da biodiversidade e na produção de alimentos.

O controle de ervas daninhas por herbicidas de amplo espectro, como o glifosato, leva à dizimação de flores e brotos e, portanto, à escassez de alimentos para insetos que se alimentam de flores e ervas silvestres, interferindo na biodiversidade e contribuindo para o declínio de insetos polinizadores (Fundação Heinrich Böll, 2023). Pesquisadores da Universidade do Texas, nos EUA, apontaram ainda que o glifosato é prejudicial às abelhas, afetando seus micróbios intestinais benéficos e sua eficácia como polinizadores (MOTTA *et al.*, 2018).

Para o 2,4-D, o estudo de Nocelli *et al.* (2019), avaliou os efeitos da metade da dose, a dose de campo e o dobro da dose de campo dos herbicidas glifosato, 2,4-D, picloram e a mistura de glifosato + 2,4-D para as exposições tópica e oral, em operárias de abelhas nativas da espécie *Melipona scutellaris*. O estudo demonstrou que na exposição oral, tanto a dose de campo quanto a dose dupla reduziram a longevidade da espécie, exceto aquelas expostas a uma dose dupla de 2,4-D, enquanto para a exposição tópica, as abelhas expostas ao glifosato + 2,4-D tiveram diminuição na longevidade.

Wang *et al.* (2023), identificaram que a exposição à atrazina pode desregular o sistema imunológico e aumentar a susceptibilidade contra patógenos em abelhas de maneira dose-dependente. O estudo demonstrou que a exposição a 37,3 mg/L de atrazina alterou substancialmente a composição e o tamanho da comunidade microbiana intestinal, reduzindo claramente a abundância absoluta e relativa de três táxons gram-positivos principais, e que com a composição alterada do microbioma e um sistema imunológico enfraquecido após a exposição à atrazina, as abelhas tornaram-se mais suscetíveis à infecção pelo patógeno oportunista *Serratia marcescens*.

Baptista *et al.* (2009), avaliaram a toxicidade de inseticidas/acaricidas utilizados em cultura de citros para operárias africanizadas de *Apis mellifera Linnaeus*. A exposição das abelhas aos compostos foi realizada usando-se técnicas de pulverização, contaminação da dieta e contato em superfícies tratadas (folhas de citros e placas de Petri), empregando-se as doses máximas recomendadas para a cultura. Independente do modo de exposição, o acefato foi extremamente tóxico, matando mais de 90,0% das abelhas 24h após a aplicação.

Para mancozebe, o estudo de Ramos (2021), avaliou os efeitos da exposição crônica, via oral e tópica de operárias imaturas de abelhas sem ferrão, o qual apontou efeitos negativos em *Scaptotrigona bipunctata*, quando expostas a doses semelhantes às encontradas em campos de citros, afetando sobrevivência e gerando deformidades.

- **Resistência de Plantas Daninhas**

Pode-se destacar ainda, a probabilidade de os ingredientes ocasionarem Resistência de Plantas Daninhas devido à usos extensivos, o que acaba resultando em uma necessidade crescente de aplicações mais frequentes e/ou o uso de herbicidas combinados, com potenciais consequências para a resistência ecológica.

Recentemente, pesquisadores da EMBRAPA (Adegas *et al.*, 2023) relataram um novo caso de planta daninha resistente ao glifosato (picão-preto - *Bidens subalternans*), se tratando da 12^a espécie a apresentar resistência ao herbicida no Brasil.

- **Impactos na Microbiota do solo**

Os ingredientes ativos podem afetar a microbiota do solo, incluindo bactérias e fungos que são benéficos, o que pode trazer implicações para a saúde do solo e a ciclagem de nutrientes. Pode ainda, persistir no ambiente por um certo período, devido a suas características físico-

químicas e dependendo das condições locais, persistência essa que pode aumentar a exposição de organismos ao longo do tempo e prejudicar, inclusive, colheitas subsequentes.

Segundo o Atlas dos Agrotóxicos (Fundação Heinrich Böll, 2023), os resíduos de glifosato persistentes no solo demonstraram alterar muitos processos das plantas: eles impactam a regulação dos sistemas de defesa das plantas contra doenças e fungos nocivos do solo. Os resíduos de glifosato na alimentação do gado podem até ser transferidos para o esterco e afetar o crescimento das culturas fertilizadas no ano seguinte.

Ainda conforme o Atlas, o glifosato influencia a ecologia do solo de várias formas, direta e indiretamente. Seu uso pode ter efeitos negativos sobre as bactérias do solo e interferir na simbiose estabelecida entre alguns fungos e as raízes das plantas, como as uvas, por exemplo. Mesmo após 11 meses da aplicação, o herbicida pode continuar impactando a composição de nutrientes de toda a videira. Os herbicidas à base de glifosato diminuem a atividade e a reprodução das minhocas, além de provocar a migração de pequenos colêmbolos do solo para a superfície, tornando-os mais suscetíveis a predadores. Esses impactos na vida do solo podem comprometer ainda mais infiltração de água, especialmente após chuvas intensas, contribuindo para uma maior contaminação por glifosato nos corpos d'água (Fundação Heinrich Böll, 2023).

Para atrazina, uma meta-análise conduzida por Hu *et al.* (2023), demonstrou que a aplicação de atrazina aumentou significativamente a biomassa microbiana do solo e a respiração em 8,9% e 26,77%, respectivamente, e diminuiu a diversidade microbiana do solo e a atividade enzimática em 4,87% e 24,04%, respectivamente. A atividade enzimática do solo foi o indicador que mostrou a maior diminuição após a aplicação de atrazina, foi significativamente correlacionado positivamente com a capacidade de retenção de água, temperatura, conteúdo de carbono orgânico e herbicida concentração; foi negativamente correlacionado com o pH do solo. Na pesquisa de Liu *et al.* (2024), a saúde do solo agrícola após aplicação de atrazina em campos plantados com milho com base na resposta dos micróbios do solo, cuja pesquisa demonstrou que as funções dos nutrientes do solo e da ciclagem do carbono foram afetadas negativamente.

O estudo de Carniel *et al.* (2019) demonstrou que mancozebe afeta invertebrados de dois diferentes tipos de solos brasileiros. A pesquisa apontou que mancozebe reduziu a reprodução de *Folsomia candida*, sobrevivência e reprodução de *Enchytraeus crypticus*, sendo a toxicidade maior em Latossolos do que em Argissolos.

- **Impactos na Saúde Humana**

Embora alguns estudos tenham concluído que o glifosato, quando usado de acordo com as recomendações não apresenta riscos significativos para a saúde humana, há preocupações e controvérsias sobre possíveis efeitos carcinogênicos e outros impactos à saúde.

Em março de 2015, a IARC - Agência Internacional de Pesquisa em Câncer – órgão intergovernamental que faz parte da Organização Mundial da Saúde (OMS) das Nações Unidas – classificou o glifosato (Grupo 2A) como “provavelmente cancerígeno para humanos”. Em 2019, a Universidade de Washington publicou o estudo “Exposição a Herbicidas à Base de glifosato e Risco para Linfoma Não-Hodgkin: Uma Meta-Análise e Evidência de Apoio”, com base em uma meta-análise que sugeriu uma relação entre a exposição de herbicidas à base de glifosato e ao aumento do risco de linfoma não-Hodgkin em 41% (ZHANG *et al.*, 2019). Em dezembro de 2020, a pesquisa de Dias *et al.*, associou ainda o uso de glifosato utilizado na produção de soja entre 2000 e 2010, a uma alta de 5% na mortalidade infantil em municípios do Sul e Centro-Oeste do Brasil, que são abastecidos com água de regiões sojicultoras.

O 2,4-D, foi apontado pela IARC (Grupo 2B) em 2016 como “possivelmente carcinogênico para Humanos”. Considerando-se que há evidências sobretudo de que há indução de estresse oxidativo e de que causa imunossupressão, dois mecanismos relevantes que podem acarretar a formação de câncer (SMITH *et al.*, 2016). Além disso, a comunidade Europeia o aponta com potencial desregulador endócrino para humanos e vida selvagem (Categoria 2), (FRIEDRICH *et al.*, 2021). Garabrant *et al.* (2002), relacionaram o 2,4-D ao surgimento de linfoma não-hodgkin e sarcoma, Yi *et al.* (2013) relacionaram o 2,4-D ao surgimento de câncer de cólon e leucemia (LOPES, 2023). Friedrich (2014) associou o uso do herbicida 2,4-D a efeitos tóxicos sobre o sistema reprodutivo, hormonal e câncer para seres humanos. Liu *et al.* (2023) associou a exposição materna ao ácido 2,4-diclorofenoxyacético durante o início da gravidez com hormônios esteróides em bebês de um mês de idade, o qual demonstrou que a exposição pode interferir na homeostase do hormônio esteróide infantil.

O acefato é incluído no Grupo C pela USEPA (2022), como “possível cancerígeno para humanos” e foi associado a neurotoxicidade em um artigo publicado (BEAVERS *et al.*, 2014) pela Escola de Medicina da Universidade de Louisville, nos EUA. O estudo recente de Ellis *et al.* (2023), associou o aumento dos níveis do organofosforado a diminuição da concentração de espermatozoides, ou seja, afetando a fertilidade masculina. Tal efeito já havia sido evidenciado pela comunidade científica.

A atrazina é classificada como desregulador endócrino pela comunidade Europeia, sendo incluída na Categoria 1 para humanos (evidência de desregulação endócrina em estudos *in vivo*) e na Categoria 2 (evidência de desregulação endócrina em estudos *in vitro*) para vida selvagem (FRIEDRICH *et al.*, 2021). A pesquisa de Cragin *et al.* (2011) apontou que a atrazina pode ter provocado irregularidade no ciclo menstrual e alterações hormonais das mulheres que consumiam água contaminada, sendo evidenciada sua ação antiestrogênica e Hase *et al.* (2008) apontou que a exposição à atrazina pode levar a redução da qualidade do sêmen (CARMO *et al.* 2013).

O mancozebe consta incluído na categoria do Grupo B da USEPA – provável carcinógeno para humanos de acordo com o “Annual Cancer Report 2022”. A toxicidade por mancozebe foi relatada em estudos experimentais, que evidenciaram a suspeita de carcinogenicidade em ratos (BELPOGGI *et al.*, 2002) e a indução de dano ao ácido desoxirribonucleico (DNA) em células expostas *in vitro* por meio de mecanismos oxidativos (CALVIELLO *et al.*, 2006), além de graus de esteatose hepática induzida por ácidos graxos (PIROZZI *et al.*, 2016) e efeitos colaterais que alteraram a estrutura e composição da diversidade bacteriana em um modelo *in vitro* (PEZZINI, 2022).

Os potenciais efeitos levantados evidenciam impactos que não devem ser subestimados. As pesquisas apontam que os ingredientes ativos podem contaminar os diferentes compartimentos ambientais e a saúde humana, muitas vezes, em concentrações até mesmo autorizadas para uso ou permitidas pelos órgãos reguladores.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa desenvolvida neste estudo apontou que o glifosato foi o ingrediente ativo mais comercializado no Estado de Minas Gerais, de acordo com o ano base 2022. Tal fato já havia sido evidenciado em anos pretéritos, cuja média de consumo foi superior a 16.000 t ao se considerar os últimos 05 anos. Seguem no *ranking* em ordem de vendas no ano de 2022, os ingredientes ativos: mancozebe, atrazina, acefato e 2,4-D.

As propriedades físico-químicas dos compostos, associadas ao método de Goss (1992) e índice de GUS (1989), possibilitou analisar os potenciais de contaminação nas águas superficiais e subterrâneas, sendo visualizados os seguintes comportamentos para os ingredientes ativos estudados na água superficial: baixo potencial de transporte associado ao sedimento (BPT) para 2,4-D, acefato e mancozebe; médio potencial de transporte associado ao sedimento (MPT) para atrazina e glifosato; alto potencial de transporte dissolvido em água (APT) para atrazina e médio potencial de transporte dissolvido em água para os demais ingredientes ativos (2,4-D, acefato, glifosato e mancozebe). Já na água subterrânea, o 2,4-D apresentou índice que aponta para provável lixiviação; atrazina demonstrou-se na Zona de Transição e acefato, glifosato e mancozebe obtiveram potenciais nulos de lixiviação.

A avaliação dos resultados de potabilidade disponíveis no SISÁGUA demonstrou que os ingredientes ativos foram quantificados em no mínimo 35% das amostras analisadas, o que traz à tona uma realidade preocupante para a população em geral. Outro fato importante, diz respeito aos valores máximos permitidos na portaria de potabilidade no Brasil, apontando para limites extremamente superiores ao que é permitido na União Europeia, além de se considerar os limites somente para a avaliação individual dos ingredientes ativos, independentemente da quantidade de compostos presentes na amostra ou da mistura desses ingredientes. Há de se considerar ainda que o Brasil permite o uso de pesticidas que já foram banidos na União Europeia, devido a sua elevada toxicidade.

Os potenciais efeitos dos compostos levantados evidenciam impactos que não devem ser subestimados. As pesquisas apontam que os ingredientes ativos podem contaminar os diferentes compartimentos ambientais e a saúde humana, muitas vezes, em concentrações até mesmo autorizadas para uso ou permitidas pelos órgãos reguladores. Ademais, ingredientes ativos como 2,4-D e atrazina não são removidos no ciclo completo das estações de tratamento de água no Brasil. Tal fato fica evidenciado pela presença desses compostos na água distribuída para consumo humano, mesmo quando os potenciais de contaminação são considerados baixos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEGAS, F. S. *et al.* **Novo caso de resistência de planta daninha ao glifosato no Brasil: picão-preto (*Bidens subalternans*).** Londrina: Embrapa, 2023. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155922/1/Com-Tec-107.pdf>>. Acesso em 11 dez. 2023.
- AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários.** Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 03 nov. 2023.
- ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Anvisa aprova novo marco regulatório para agrotóxicos.** 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/anvisa-aprova-novo-marco-regulatorio-para-agrotoxicos>>. Acesso em 10 nov. 2023.
- ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Regulação de produtos e serviços. Agrotóxicos. Monografias de agrotóxicos.** 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias>>. Acesso em 12 nov. 2023.
- BAPTISTA, *et al.* **Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados em citros para *Apis mellifera*.** Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.4, p.955-961, jul, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000049>>. Acesso em 18 dez. 2023.
- BEAVERS, C. T.; PARKER, JOSEPH J.; FLINCHUM, D. A.; WEAKLEY-JONES, B. A.; JORTANI, S. A. **Pesticide-Induced Quadriplegia in a 55-Year-Old Woman.** The American Journal of Forensic Medicine and Pathology 35(4): p 239-241, dezembro de 2014. Disponível em: <DOI: 10.1097/PAF.0000000000000108>. Acesso em 19 dez. 2023.
- BELPOGGI, F.; SOFFRITTI, M.; GUARINO, M.; LAMBERTINI, L.; CEVOLANI, D.; MALTONI, C. **Results of long-term experimental studies on the carcinogenicity of ethylenebisdiethiocarbamate (Mancozeb) in rats.** Ann. N. Y. Acad. Sci. 982, 123-13, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2002.tb04928.x>>. Acesso em 20 dez. 2023.
- BURSZTEJN, S.; BENETTI, A. D. **Monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água: Uma análise comparada entre a Portaria n.º 888/2021 e as Diretivas Internacionais.** v. 37 n. 3 (2023): Águas Subterrâneas. Disponível em: <<https://doi.org/10.14295/ras.v37i3.30220>>. Acesso em 12 dez. 2023.
- BRASIL, BRASÍLIA – DF: Presidência da República. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021.** Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em 05 nov. 2023.
- BRASIL, BRASÍLIA – DF: Presidência da República. **Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm>. Acesso em 11 nov. 2023.
- BRASIL, BRASÍLIA – DF: Presidência da República. **Decreto nº 4.074, de 04 de janeiro de 2002.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074.htm>. Acesso em 11 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 2.080, de 31 de julho de 2019.** Disponível em: <<https://in.gov.br/web/dou/-/resolucao-re-n-2080-de-31-de-julho-de-2019-208203097>>. Acesso em 12 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **NOTA TÉCNICA Nº 12/2020/SEI/CREAV/GEMAR/GGTOX/DIRE3/ANVISA.** Disponível em: <<https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/5344168/%281%29Nota+t%C3%A9cnica+final+de+reavalia%C3%A7%C3%A3o+do+Glifosato.pdf/00558a91-3cc5-49bb-8c49-761c387d0681>>. Acesso em 20 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. VIGIAGUA - Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. **Controle Semestral – Tabela de Resultados Completa.** 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/seidigi/demas/situacao-de-saude/vigiagua>>. Acesso em 27 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. VIGIAGUA - Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. **Gráficos.** 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/seidigi/demas/situacao-de-saude/vigiagua>>. Acesso em 10 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Revisão do Anexo XX da Portaria de Consolidação no 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (antiga Portaria MS Nº 2914/2011). **Critérios de seleção de agrotóxicos.** 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/2020/arquivos/DOCSNTESEAGROTXICOS1METODOLOGIADESELEO.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano.** 2016. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretriz_nacional_plano_amostragem_agua.pdf>. Acesso em 09 dez. 2023.

BRESSAN, M. AGROTÓXICOS (LEGISLAÇÃO FEDERAL). MAPA/SFA-PR: Embrapa Meio Ambiente, 2015. Disponível em <<https://www.embrapa.br/documents/1355202/1529289/Agrot%C3%B3xicos+-+Legisla%C3%A7%C3%A3o+Federal+-+Marcelo+Bressan.pdf/7fa2f519-2945-a6a6-dbe5-c141c487693c>>. Acesso em 11 nov. 2023.

CALVIELLO, G.; PICCIONI, E.; BONINSEGNA, A.; TEDESCO, B.; MAGGIANO, N.; SERINI, S.; WOLF, F. I.; PALOZZA, P. **DNA damage and apoptosis induction by the pesticide Mancozeb in rat cells: involvement of the oxidative mechanism.** Toxicol. Appl. Pharmacol. 211, 87-96, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.taap.2005.06.001>>. Acesso em 20 dez. 2023.

CARMO et al. Comportamento ambiental e toxicidade dos herbicidas atrazina e simazina. Rev. Ambient. Água 8 (1) • Abr 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/amb-agua.1073>>. Acesso em 19 dez. 2023.

CABRERA, L.; COSTA, F.P.; PRIMEL, E.G. Estimativa de risco de contaminação das águas por pesticidas na região sul do estado do RS. Quím. Nova, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 1982- 1986, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000800012>>. Acesso em 17 nov. 2023.

CARNIEL, L. S. *et al.* **O fungicida mancozebe afeta invertebrados em dois solos subtropicais brasileiros.** Quimiosfera, v. 232, outubro de 2019, páginas 180-185. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.179>>. Acesso em 18 dez 2023.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. FIT – **Ficha de Informação Toxicológica.** Publicada em junho de 2018 e atualizada em fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Glifosato.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2023.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. FIT – **Ficha de Informação Toxicológica.** Publicada em novembro de 2020 e atualizada em fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/24-D.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2023.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. FIT – **Ficha de Informação Toxicológica.** Publicada em julho de 2012 e atualizada em julho de 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Acefato.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2023.

CHIN TAI, J. K. A, *et al.* **Adverse developmental impacts in progeny of zebrafish exposed to the agricultural herbicide atrazine during embryogenesis.** Environment International: Elsevier, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108213>>. Acesso em 13 dez. 2023.

CORREIA, N. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185779/1/DOC-160.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2023.

CRAGIN, L. A.; KESNER, J. S.; BACHAND, A. M.; BARR, D. B.; MEADOWS, J. W.; KRIEG, E. F. *et al.* **Menstrual cycle characteristics and reproductive hormone levels in women exposed to atrazine in drinking water.** Environmental Research, v. 111, n. 08, p. 1293-1301, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.09.009>>. Acesso em 19 dez. 2023.

DIAS, M.; ROCHA R.; SOARES, R. R. **Down the River: Glyphosate Use in Agriculture and Birth Outcomes of Surround Populations.** 2020. Disponível em: <<https://www.insper.edu.br/wp-content/uploads/2021/04/Dias-Rocha-Soares-2020.12.30.pdf>>. Acesso em 19 dez. 2023.

ELLIS, L. B. *et al.* **Adult Organophosphate and Carbamate Insecticide Exposure and Sperm Concentration: A Systematic Review and Meta-Analysis of the Epidemiological Evidence.** Environmental Health Perspectives, Volume 131, Issue 11, nov 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1289/EHP12678>>. Acesso em 19 dez. 2023.

FRIEDRICH, K. **Avaliação dos efeitos tóxicos sobre o sistema reprodutivo, hormonal e câncer para seres humanos após o uso do herbicida 2,4-D.** Parecer Técnico. Fundação Oswaldo Cruz. Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.academia.edu/37301250/AVALIA%C3%87%C3%83O_DOS_EFEITOS_T%C3%93XICOS_SOBRE_O_SISTEMA_REPRODUTIVO_HORMONAL_E_C%C3%82NCER_PARA_SERES_HUMANOS_AP%C3%93S_O_USO_DO_HERBICIDA_2_4_D>. Acesso em 18 dez. 2023.

FRIEDRICH, K. *et al.* Situação regulatória internacional de agrotóxicos com uso autorizado no Brasil: potencial de danos sobre a saúde e impactos ambientais. Cad. Saúde Pública 2021; 37(4):e00061820. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-311X00061820>>. Acesso em 19 dez. 2023.

FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL STIFTUNG. **Atlas dos Agrotóxicos**. Rio de Janeiro: dezembro de 2023. Disponível em: <<https://br.boell.org/sites/default/files/2023-12/atlas-do-agrotoxico-2023.pdf>>. Acesso em 08 dez. 2023.

GAAIED, S.; OLIVEIRA, M.; DOMINGUES, I. & BANNI, M. **Efeitos do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxyacético em larvas de peixe-zebra: desenvolvimento, neurotransmissão e comportamento como pontos finais sensíveis**. Environ Sci Pollut Res 27, 3686–3696 (2020). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04488-5>>. Acesso em 13 dez. 2023.

GOSS, D.W. **Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts**. Weed Technology, Champaign, v.6, n.4, p.701-708, 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0890037X00036083>>. Acesso em 17 nov. 2023.

GUSTAFSON, D. I. **Groundwater Ubiquity Score: a simple method for assessing pesticide leachability**. Environmental Toxicology and Chemistry, v. 8, p. 339-357, 1989. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/etc.5620080411>>. Acesso em 17 nov. 2023.

HASE, Y.; TATSUNO, M.; NISHI, T.; KATAOKA, K.; KABE, Y.; YAMAGUSHI, Y. *et al.* **Atrazine binds to F1F0-ATP synthase and inhibits mitochondrial function in sperm**. Biochemical and Biophysical Research Communications, v. 366, n. 01, p. 66-72, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrc.2007.11.107>>. Acesso em 19 dez. 2023.

HU, Y. *et al.* **Impact of atrazine on soil microbial properties: A meta-analysis**. Environmental Pollution, Volume 323, 15 April 2023, 121337. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121337>>. Acesso em 12 dez. 2023.

IARC – International Agency for Research on Cancer. **IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides**. 2015. Disponível em: <<https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/MonographVolume112-1.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2023.

IARC – International Agency for Research on Cancer. **DDT, Lindane, and 2,4-D - IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 113**. 2016. Disponível em: <<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/DDT-Lindane-And-2-4-D-2016>>. Acesso em 19 dez. 2023.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Painel de Comercialização de Agrotóxicos. Série Histórica de 2009 a 2022**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos#Painel-comercializacao>>. Acesso em 05 nov. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. **Minas Gerais**. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>>. Acesso em 27 nov. 2023.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Bacia hidrográfica ottocodificada**. Belo Horizonte: Gerência do Sistema Estadual da Informação em Recursos Hídricos (Geirh)/Superintendência de Planejamento de

Recursos Hídricos (SPR), 2020. Dado em formato vettorial (kml). Disponível em: <<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em 29 nov. 2023.

IMA – Instituto Mineiro de Agropecuária. **Agrotóxicos**. Disponível em: <<https://www.ima.mg.gov.br/sanidade-vegetal/agrotoxicos>>. Acesso em 12 nov. 2023.

IMA – Instituto Mineiro de Agropecuária. **Agrotóxicos. Agrotóxicos aptos para comercialização em Minas Gerais – Novembro 2023**. Disponível em: <<https://www.ima.mg.gov.br/sanidade-vegetal/agrotoxicos>>. Acesso em 29 nov. 2023.

INCA – Instituto Nacional de Câncer. **Agrotóxico**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxico>>. Acesso em: 02 dez. 2023.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. **A to Z List of Active Ingredients**, 2023. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz.htm>>. Acesso em 22 nov. 2023.

Javaroni, R. D. C. A., Landgraf, M. D., & Rezende, M. O. O. (2016). **Behavior of the herbicides atrazine and alachlor applied to soil prepared for the cultivation of sugarcane**. New Chemistry, February 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000100012>>. Acesso em 12 nov. 2023.

KARAM, D.; RIOS, J. N. G.; FERNANDES, R. C. **Agrotóxicos**. Belo Horizonte: Embrapa Milho e Sorgo. 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117159/1/Agrotoxicos.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2023.

LEWIS, S. E.; SILBURN, D. M.; KOOKANA, R. S.; SHAW, M. **Pesticide Behavior, Fate, and Effects in the Tropics: An Overview of the Current State of Knowledge**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 64, n. 20, p. 3917-3924. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01320>>. Acesso em 13 dez. 2023.

LOPES, H. R. **Vivendo em territórios contaminados: um dossiê sobre agrotóxicos nas águas de Cerrado**. Palmas: APATO, 2023. Disponível em: <<https://campanhacerrado.org.br/images/biblioteca/dossie-agrotoxicos-aguas-cerrado.pdf>>. Acesso em 18 dez. 2023.

LIU, J. *et al.* **Associations of maternal exposure to 2,4-dichlorophenoxyacetic acid during early pregnancy with steroid hormones among one-month-old infants**. Science of The Total Environment, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169414>>. Acesso em 19 dez. 2023.

LIU, X. *et al.* **Evaluation of agricultural soil health after applying atrazine in maize-planted fields based on the response of soil microbes**. Applied Soil Ecology, Volume 193, January 2024, 105157. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105157>>. Acesso em 19 dez. 2023.

LIU, X. *et al.* **Developmental toxicity and neurotoxicity of synthetic organic insecticides in zebrafish (*Danio rerio*): A comparative study of deltamethrin, acephate, and thiamethoxam**. Chemosphere, Volume 199, May 2018, Pages 16-25. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.176>>. Acesso em 19 dez. 2023.

LONDRES, F. **Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida**. 2. ed. Rio de Janeiro: Rede Brasileira de Justiça Ambiental; Articulação Nacional de Agroecologia, 2012.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registros concedidos.** Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/informacoes-tecnicas>>. Acesso em 05 nov. 2023.

MONTAGNER, Cassiana C.; VIDAL, Cristiane; ACAYABA, Raphael D. **Contaminantes Emergentes em Matrizes Aquáticas do Brasil: Cenário Atual e Aspectos Analíticos, Ecotoxicológicos e Regulatórios.** Química Nova, Vol. 40, nº 9, 1094-1110, São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>>. Acesso em 11 nov. 2023.

MOTTA, *et al.* **Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees.** Austin: University of Texas, 2018. Disponível em: <<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1803880115>>. Acesso em 12 dez. 2023.

NOCELLI, R. C.F.; SOARES, S. M. M; MONQUERO, P. A. **Efeito de Herbicidas na Sobrevida de Abelhas Nativas Brasileiras *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 (Hymenoptera: Apidae).** Article, Planta Daninha, v. 37, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100156>>. Acesso em 18 dez. 2023.

PEZZINI, M. F. **Influência do fungicida Mancozebe na microbiota intestinal em um modelo experimental.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Ciências em Gastroenterologia e Hepatologia, Porto Alegre, BR-RS, 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/252551>>. Acesso em 20 dez. 2023.

PESCARA, Igor Cardoso. **Ocorrência e remoção de contaminantes emergentes por tratamentos convencionais de água e esgoto.** 2014. 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

PIROZZI, A. V. A; STELLAVATO A.; LA GATTA A.; LAMBERTI M.; SCHIRALDI C. **Mancozeb, a fungicide routinely used in agriculture, worsens nonalcoholic fatty liver disease in the human HepG2 cell model.** Toxicology Letters; 2016, 13(249): 1-4. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.03.004>>. Acesso em 20 dez. 2023.

PUBCHEM. **Explore Chemistry.** Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>>. Acesso em 22 nov. 2023.

RAMOS, J. D. **Potenciais efeitos da exposição a fungicidas agrícolas para abelhas-sem-ferrão imaturas: conservação de polinizadores e políticas públicas.** [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 24 ago. 2021. Disponível em: <<https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/9902>>. Acesso em 18 dez. 2023.

SÁNCHEZ, J. A. A. **Impactos do uso de herbicidas à base de glifosato para o peixe *Jenynsia multidentata*: abordagem histológica e comportamental.** 2018. Disponível em: <<https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/bdtd/f63be5cb5cc0d2355176a1fef15d875f.pdf>>. Acesso em 12 dez. 2023.

SANDRIN DE ALMEIDA, L.; DOS SANTOS DALL AGNOL, F. R.; GIACOMINI VARELA, K.; KAFUQUENA FONSECA MATEUS, C.; DE CARVALHO, D.; FREITAS CORDEIRO, M. **Toxicidade de concentrações ambientalmente relevantes de Mancozebe em zebrafish em estágios iniciais do desenvolvimento.** Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão (SIEPE), [S. l.], p. e33910, 2023. Disponível em: <<https://periodicos.unoesc.edu.br/siepe/article/view/33910>>. Acesso em 13 dez. 2023.

SCORZA JUNIOR, R. P. **Pesticidas, agricultura e recursos hídricos**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38751/1/CT200612.pdf>>. Acesso em 04 nov. 2023.

SES – Secretaria de Estado de Saúde. **Notícias. Resíduos de Agrotóxicos**. Disponível em: <<https://www.saude.mg.gov.br/ajuda/story/19031-residuos-de-agrotoxicos>>. Acesso em 12 nov. 2023.

SEAPA – Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrodados. **Café**. 2023. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/agricultura/agrodados>>. Acesso em 12 nov. 2023.

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Panorama de abastecimento de água e esgotamento sanitário de 2022**. Belo Horizonte: Semad, 2022. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2023/SANEAMENTO/PANORAMA_ABASTECIMENTO_DE_AGUA_ESGOTAMENTO_SANITARIO_FINAL_2022.pdf>. Acesso em 08 dez. 2023.

Sene, L., Converti, A., Aparecida, G., Secchi, R., & Cássia, R. De. (2010). **New Aspects on Atrazine Biodegradation**. Brazilian Archives of Biology and Technology, 53(April), 487–496.

Sistema FAEMG – Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais. **Agronegócio em Minas. BALANÇO 2022**. Disponível em: <<http://www.sistemafaemg.org.br/Content/uploads/agronegocio/cyEY1672168257817.pdf>>. Acesso em 28 nov. 2023.

SMITH, M.T.; GUYTON, K.Z.; GIBBONS, C.F.; FRITZ, J.M.; PORTIER, C.J.; RUSYN, I.; *et al.* (2016). **Key characteristics of carcinogens as a basis for organizing data on mechanisms of carcinogenesis**. Environ Health Perspect. 124(6):713–21. Disponível em: <<https://doi.org/10.1289/ehp.1509912>>. Acesso em 15 dez. 2023.

SPADOTTO, C. A. GOMES, M. A. F. **Agrotóxicos no Brasil**. São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil>>. Acesso em 05 nov. 2023.

UE. **Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano**. 2020. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32020L2184>>. Acesso em 27 nov. 2023.

UE. **Regulamento de Execução (UE) 2023/2660 da Comissão, de 28 de novembro de 2023, que renova a aprovação da substância ativa glifosato em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1107/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho e altera o Regulamento de Execução (UE) n.º 540 da Comissão /2011**. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2023/2660/oj>. Acesso em 10 dez. 2023.

USA. United States Environmental Protection Agency (EPA). **National Primary Drinking Water Regulations**. 2009. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>>. Acesso em 27 nov. 2023.

USA. United States Environmental Protection Agency (EPA). **Chemicals Evaluated for Carcinogenic Potential - Annual cancer report 2022.** Disponível em: <http://npic.orst.edu/chemicals_evaluated.pdf>. Acesso em 19 dez. 2023.

ZHANG, L. *et al.* **Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis and supporting evidence.** Mutation Research/Reviews in Mutation Research. Volume 781, July–September 2019, Pages 186-206 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001>>. Acesso em 11 dez. 2023.

WANG, K. *et al.* **Atrazine exposure can dysregulate the immune system and increase the susceptibility against pathogens in honeybees in a dose-dependent manner.** Journal of Hazardous Materials, Volume 452, 15 June 2023, 131179. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131179>>. Acesso em 18 dez. 2023.

WHO - World Health Organization. **Dithiocarbamate Pesticides, Ethylenethiourea and Propylenethiourea: A General Introduction,** Genebra: 1988. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc78.htm>>. Acesso em 12 nov. 2023.

WHO - World Health Organization. **Fourth Edition Guidelines for Drinking-water Quality.** 2011. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>>. Acesso em 27 nov. 2023.