

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

MAYARA TIEMI FUZIWARA

**ATRAZINA - APROVAÇÕES DE AGROTÓXICOS NO BRASIL, SEUS EFEITOS
AO MEIO AMBIENTE E PARA OS SERES HUMANOS**

**São Carlos – SP
2023**

MAYARA TIEMI FUZIWARA

**ATRAZINA - APROVAÇÕES DE AGROTÓXICOS NO BRASIL, SEUS EFEITOS
AO MEIO AMBIENTE E PARA OS SERES HUMANOS**

Trabalho de Graduação apresentado
ao Departamento de Engenharia
Química da Universidade Federal de
São Carlos para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vádila Giovana Guerra Béttega

**São Carlos – SP
2023**

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 13 de março de 2023 perante a seguinte banca examinadora:

Orientadora: Vádila Giovana Guerra Béttega, DEQ/UFSCar

Convidado: Rosineide Gomes da Silva Cruz

Professor da Disciplina: Jose Maria Correa Bueno

RESUMO

Com o grande crescimento populacional nos últimos anos e com o recente alcance de 8 bilhões de pessoas ao redor do mundo, a falta de alimentos para todos tornou-se uma discussão recorrente. Pensando em um maior rendimento nas plantações, o uso de agrotóxicos tornou-se uma prática cada vez mais intensa e no Brasil, a quantidade de novos produtos registrados vem batendo recordes, tendo em 2021, 562 novos patentesamentos. A venda de agrotóxicos também é alta, com aproximadamente 720 mil toneladas de volume em 2021, destacando-se os herbicidas, responsáveis por mais da metade do volume de ingredientes ativos consumidos. Para este trabalho, realizado na forma de revisão bibliográfica, foi escolhido o ingrediente ativo atrazina e foi abordado seus efeitos em seres humanos, no qual seu efeito se torna inconclusivo, visto que ainda existem muitas divergências entre os estudos antigos com os mais recentes. Observou-se uma presença residual forte no solo, prejudicando o rendimento das próximas culturas plantadas na região, além de causar efeitos a microrganismos e invertebrados que habitam no local. Para a presença em água, observou-se uma complexidade muito maior de efeitos e na insistência do ingrediente ativo em persistir no ambiente, prejudicando toda a cadeia alimentar dos animais aquáticos.

Palavras-chave: Atrazina. Ingrediente ativo. Herbicida. Efeitos ambientais. Novos registros.

ABSTRACT

With the significant population growth in recent years and the recent global reach of 8 billion people, the lack of food for everyone has become a recurring discussion. In order to achieve higher yields in crops, the use of pesticides has become an increasingly intense practice, and in Brazil, the number of new registered products is breaking records, with 562 new patents in 2021 alone. The sale of pesticides is also high, with approximately 720,000 tons of volume in 2021, with herbicides standing out as responsible for more than half of the volume of active ingredients consumed. For this work, carried out in the form of a literature review, the active ingredient atrazine was chosen, and its effects on human beings were addressed, with its effect becoming inconclusive as there are still many differences between older and more recent studies. A strong residual presence was observed in the soil, damaging the yield of the next crops planted in the region, as well as causing effects on microorganisms and invertebrates that inhabit the area. In the case of water, a much greater complexity of effects was observed, with the persistence of the active ingredient in the environment harming the entire food chain of aquatic animals.

Keywords: Atrazine. Active ingredient. Herbicide. Environmental effects. New records.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Vendas de ingredientes ativos em produtos formulados por ano.....	14
Figura 2	Novos registros de agrotóxicos no Brasil.....	15
Figura 3	Venda da atrazina por ano.....	17
Figura 4	Produtos patenteados com atrazina nos últimos anos.....	18
Figura 5	Porcentagem de novos produtos e sua respectiva classificação.....	19
Figura 6	Estrutura química da atrazina.....	21
Figura 7	Diagrama de blocos simplificado para produção do ingrediente ativo.....	40
Figura 8	Diagrama de blocos simplificado para produção de herbicidas.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Relação entre o agronegócio e o PIB brasileiro.....	13
Quadro 2 Volume do consumo por classe de agrotóxico em 2021.....	15
Quadro 3 Volume do consumo por ingrediente ativo em 2021.....	16
Quadro 4 Classificação toxicológica do agrotóxico determinado pelo IBAMA.....	19
Quadro 5 Classificação da atrazina.....	21
Quadro 6 Ervas daninhas erradicadas pela atrazina.....	22
Quadro 7 Herbicidas vendidos no Brasil com atrazina sendo ingrediente ativo.....	22
Quadro 8 Consumo e exposição da atrazina em situações agudas e anuais.....	24

SUMÁRIO

BANCA EXAMINADORA.....	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE QUADROS.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVO E METODOLOGIA.....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
4. ASPECTOS ECONÔMICOS.....	12
4.1 A importância do agronegócio pro Brasil.....	12
4.2 Consumo de ingrediente ativo no Brasil.....	13
5. ATRAZINA.....	20
5.1 Estrutura e propriedades químicas.....	21
5.2 Ervas daninhas e dosagens recomendadas.....	22
6. ATRAZINA E OS EFEITOS EM SERES HUMANOS.....	23
7. ATRAZINA E OS EFEITOS AMBIENTAIS.....	26
7.1 Efeitos da atrazina no solo.....	27
7.2 Presença da atrazina nas águas.....	33
8. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE HERBICIDAS.....	39
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
10. REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de diminuir as perdas das plantações devido as pragas existentes, como ervas daninhas, insetos e microrganismos causadores de doenças nas lavouras, os pesticidas foram criados para aumentar o rendimento dos cultivos e fazer com que os produtores tenham uma maior colheita a cada estação. No Brasil um dos responsáveis por fomentar tudo o que é relacionado ao agronegócio, foi a Revolução Verde, iniciada nos meados anos 60, no qual prometia a completa modernização do campo, visando a erradicação da fome e a busca de transformar o Brasil em um país desenvolvido, trazendo um esgotamento do solo, alterações do ecossistema, desmatamento, monopólio industrial e uma transformação bem longe de ser sustentável (Lazzari e Souza, 2017).

Apesar dos males causados, o ramo agrícola, de acordo com o CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), tem uma participação crescente no PIB brasileiro nos últimos anos, sendo registrado em 2021 uma parcela de 20,5%. Com esse crescimento é inegável reconhecer o aumento de consumo desses produtos no Brasil e também em exportações, além do crescimento de novos produtos serem criados e patenteados, sendo em 2021 um recorde de 562 agroquímicos inéditos, o maior da história do país.

No Brasil, os herbicidas são os agrotóxicos mais utilizados, devido ao seu combate a ervas daninhas e por serem comumente usados em plantações de milho, soja e café, que são lavouras em grande escala no país e com um grande volume de exportação. Dentre os 3 ingredientes ativos mais consumidos para a produção de herbicidas, a atrazina é o único que é proibido na União Européia desde os anos 90, devido ao seu crítico comportamento ambiental de *carryover* (resíduo do herbicida que se mantém no solo e prejudica as próximas plantações) e diversos outros problemas causados em solo, aquíferos e na fauna e flora que são expostos a esse produto. (G1 GLOBO, 2022).

Embora a atrazina seja altamente eficaz no controle de ervas daninhas, ela tem sido associada a uma série de problemas ambientais e de saúde. A exposição a longo prazo a este herbicida pode levar a doenças graves, incluindo problemas de desenvolvimento fetal, câncer, distúrbios hormonais e danos aos sistemas nervoso e imunológico.

Como resultado, a atrazina continua a ser um tema de debate entre ambientalistas, cientistas e agricultores. Enquanto alguns argumentam que é um produto químico valioso e essencial para a produção de alimentos, outros argumentam que os riscos ambientais e de saúde associados à sua utilização superam os benefícios.

Sabendo que a atrazina vem tendo um consumo cada vez maior e que o patenteamento de agroquímicos com esse ingrediente ativo também vem aumentando, é importante entender quais são seus impactos quando o assunto é meio ambiente e também para seres humanos e animais no geral, para o mapeamento de risco e uma análise mais analítica sobre o seu desempenho.

2. OBJETIVO E METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho é apresentar, a partir de uma revisão bibliográfica, um aspecto geral do crescimento do consumo da atrazina nos últimos anos, abordar os potenciais efeitos ambientais e em seres humanos que possam existir, além de algumas características químicas do mesmo. Para isso, foram consultados artigos disponíveis no Scielo, Science Direct e Google Scholar, além de livros e dados governamentais disponibilizados por órgãos como o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o objetivo de controlar as diversas pragas e doenças existentes nas plantações, os agrotóxicos surgiram com o objetivo de reduzir as perdas nas lavouras e, conseqüentemente, aumentar a produtividade agrícola (Santos e Polinarski, 2012).

Teve uma origem posterior às duas Grandes Guerras, pois as empresas químicas precisavam de um novo objetivo, visto que não seriam mais necessárias para comercializar armas químicas. Seu constante crescimento no Brasil se deve a diversos fatores históricos, principalmente no início dos anos 50 com a “Revolução verde”, no qual podemos destacar a criação do Sistema Nacional de Crédito Rural (em 1965), em que Bancos ofereciam créditos a agricultores para a compra de defensivos agrícolas, facilitando assim uma crescente comercialização do produto, assim como a criação de uma regulamentação pouco severa e fiscalizatória que

permaneceu até 1989. Também é possível citar várias isenções fiscais e tributárias nos quais os produtos possuem até hoje (como por exemplo a alíquota PIS/COFINS, NCM, ICMS, dentre outros) (LONDRES, 2011).

A "Revolução Verde" transformou completamente a agricultura tradicional por meio da modernização do ramo produtivo. Isso incluiu a implementação de tecnologias, como maquinários robustos, avanços no ramo científico com o aperfeiçoamento genético de espécies e o desenvolvimento de culturas híbridas, além de diversos adubos e agrotóxicos químicos para preparo do solo e controle de doenças e pragas (Santos e Polinarski, 2012).

Dentro deste contexto, de uma maneira geral, é possível observar a exclusão dos trabalhadores rurais de menor porte e que não possuem renda e/ou acesso a essa tecnologia, portanto, desde 2007, observa-se um mercado oligopólio, existindo seis principais empresas que controlam 85% do mercado brasileiro, sendo elas a Bayer, Syngenta, Dow, Dupont, BASF e Monsanto (LONDRES, 2011).

Infelizmente, é possível observar uma ineficiência neste modelo de produção dos agrotóxicos, pois mesmo com um uso excessivo do produto químico nas plantações, pode-se observar com o tempo, um aumento de resistência das pragas. De acordo com Vaz (2006), nos anos 70 os agricultores nos Estados Unidos utilizavam 25 mil toneladas de defensivos agrícolas e perdiam 7% do cultivo, 20 anos depois os produtores utilizavam um volume maior, cerca de 12 vezes mais, e perdiam em torno de 14% da lavoura. Este cenário acontece, pois, as pragas evoluem, conseqüentemente criam resistência aos agrotóxicos utilizados, existindo então a necessidade de a indústria sempre precisar desenvolver novos produtos para solucionar este problema. Antes dos novos produtos serem patenteados e divulgados, os agricultores tendem a perceber a redução do rendimento do produto químico que utilizam na lavoura e então aumentam a dose aplicada, resultando em uma maior poluição ambiental e problemas de saúde para as pessoas, além de gerar um desequilíbrio no ambiente, resultando no surgimento de outras pragas (insetos que não eram problema antes, começam a se comportar como invasoras e atacam as lavouras) (PERES, 2003).

4. ASPECTOS ECONÔMICOS

4.1. A importância do agronegócio para o Brasil

A agricultura, na última década, passou por um crescimento significativo, se for analisado o aumento de área plantada, produtividade, tecnologia implementada e volume exportado, já que no Brasil existe um clima favorável e uma grande área para as plantações e venda de produtos a um preço acessível. Porém, esse crescimento acelerado só foi possível devido a alguns fatores importantes, um exemplo a ser citado é o crescimento expressivo da economia mundial, sendo destaque dois países emergentes importantes para o Brasil: China e Índia. O crescimento desses dois países possibilitou ao Brasil o aumento de produção e de volume a ser exportado, devido à crescente demanda por alimentos, além da necessidade de compra de produtos agro por ambos os países (GASQUES et al., 2012).

De acordo com Fuglie e colaboradores, entre o ano de 2009 e 2012, um estudo mostrou que o Brasil, China e Estados Unidos apresentaram maiores taxas de crescimento da produtividade na agricultura, entre 100 países estudados.

No Brasil, o aumento de produtividade é explicado pelo maior consumo de produtos agrícolas. Os fertilizantes eram consumidos em 2 milhões de toneladas nos anos 70, já em 2016 houve um aumento para 15 milhões. Também é possível observar, entre os anos 2000 e 2016, um incremento de uso do NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), que são considerados os três principais macronutrientes para as plantas e são consumidos por elas em grande quantidade, desde o seu crescimento até a fase de frutificação), o consumo foi de 6,5 milhões de toneladas para 15 milhões. Portanto, é inegável que o uso de produtos agrícolas, que variam desde agrotóxicos até fertilizantes, representa nas plantações brasileiras um sinônimo de produtividade, pois tem atuado de forma curativa e preventiva, reduzindo consideravelmente perdas de produtos (Oliveira e Carraro, 2019).

O produto interno bruto (PIB) é “o valor de mercado de todos os bens e serviços finais produzidos em um país, em um dado período” (MANKIWI, 2015), portanto, o PIB é um indicador econômico muito importante, pois é possível avaliar como está sendo o comportamento econômico do país, já que representa tudo em valor monetário, em um período de geralmente 1 ano.

De acordo com o IBGE (2022), o Brasil passou por duas quedas consecutivas

de PIB, de 2015 a 2017, somente em 2018 houve um crescimento de 1% e, não coincidentemente, houve uma alta de 13% no ramo agrícola, enquanto os outros setores que houveram crescimento não ultrapassaram 1%. No ano de 2017 o PIB brasileiro foi de R\$ 6,6 trilhões.

O agronegócio no total representa cerca de 20% do PIB brasileiro, no qual o refere-se à soma de produção de insumos para agropecuária, agroindústrias, a agropecuária e serviços do ramo agrícola e ramo pecuário. O Quadro 1 mostra a participação do agronegócio no PIB brasileiro nos últimos 5 anos:

Quadro 1: Relação entre o agronegócio e o PIB brasileiro

Participação do Agronegócio no PIB brasileiro			
Ano	Agrícola	Pecuária	TOTAL
2017	14,7%	5,8%	20,6%
2018	14,9%	5,1%	20,0%
2019	14,3%	6,0%	20,4%
2020	18,4%	8,0%	26,4%
2021	20,5%	7,0%	27,6%

Fonte: CEPEA. Adaptada.

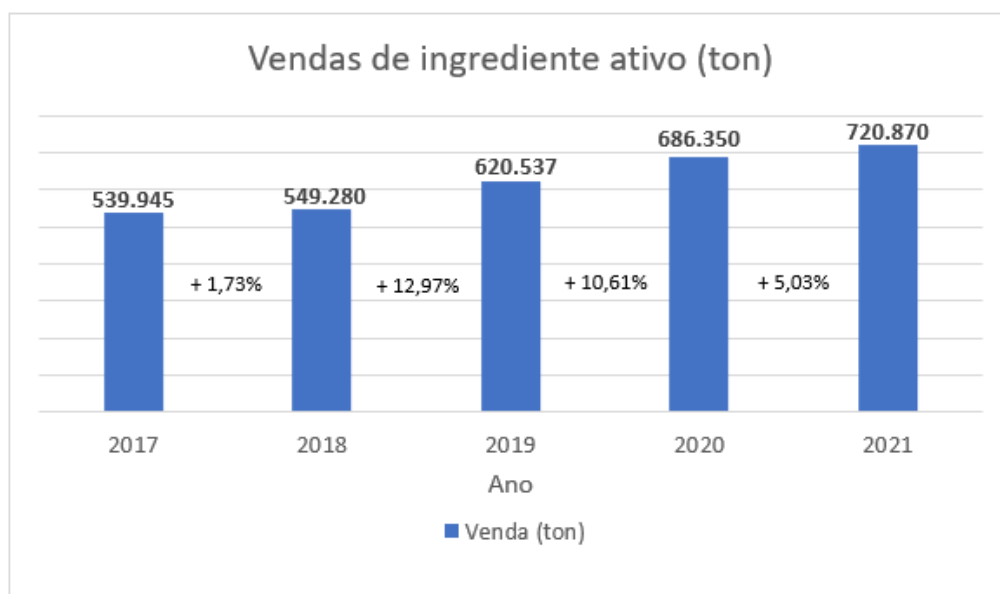
Apesar da pequena queda entre 2017 e 2018 na participação no PIB brasileiro do agronegócio total, nos últimos 3 anos é possível observar um crescimento de quase 8% no total, sendo que dessa participação, o ramo agrícola (que permaneceu crescente nos últimos 3 anos), é responsável por mais da metade dessa porcentagem, deixando explícito a importância da participação dessa área para o crescimento de participação e também no auxílio do crescimento do PIB brasileiro.

4.2. Consumo de ingrediente ativo no Brasil

De acordo com o relatório de comercialização de agrotóxicos (IBAMA, 2022), a partir de relatórios enviados por 194 empresas registradas como produtoras de defensivos agrícolas, observou-se uma venda total de produtos formulados de 720,87 mil toneladas de ingredientes ativos no Brasil, sendo esse valor 5,03% maior se comparado a 2020 (no qual a venda foi de 686,35 mil toneladas). De acordo com a notícia do G1 Globo (2019), o Brasil é o maior consumidor de agrotóxicos do mundo, batendo recordes de consumo a cada ano. A Figura 1 mostra as vendas de produtos

formulados (representados em toneladas de ingredientes ativos) por ano e seus respectivos acréscimos.

Figura 1: Vendas de ingredientes ativos em produtos formulados por ano



Fonte: IBAMA. Adaptada.

Além do aumento do consumo, a quantidade de novos defensivos agrícolas sendo registrados no Brasil vem aumentando nos últimos anos, apresentando em 2021 existindo o registro e liberação de uso para 562 novos produtos, o maior número até hoje e um crescimento de 14% se comparado a 2020. A Figura 2 representa o número de registros de agrotóxicos no Brasil a cada ano e as porcentagens de acréscimo.

Figura 2: Novos registros de agrotóxicos no Brasil



Fonte: IBAMA. Adaptada.

No Brasil existe uma classe de agrotóxicos com favoritismo de compra no mercado. Os herbicidas, em primeiro lugar no ranking, são responsáveis por 56,63% do volume de ingrediente ativo consumido em 2021, deixando uma enorme diferença entre a segunda classe, sendo responsável por apenas 17,90%. O Quadro 2 mostra o volume vendido e sua respectiva porcentagem por cada classe:

Quadro 2: Volume do consumo por classe de agrotóxico em 2021

Ranking	Classe	Volume (Ton)	%
1	Herbicida	407.462,73	56,63%
2	Fungicida	128.756,61	17,90%
3	Inseticida	92.625,19	12,87%
4	Acaricida, Fungicida	36.175,07	5,03%
5	Inseticida, Acaricida	27.473,95	3,82%
6	Outros	27.013,90	3,75%

Fonte: IBAMA. Adaptada.

Conhecida por atuar contra ervas daninhas, os herbicidas são utilizados em diversas culturas, sendo as mais comuns: soja, feijão, arroz, milho, trigo, cana-de-açúcar e café, justificando seu enorme volume consumido no Brasil, visto que as maiores culturas brasileiras, que representam 70% das lavouras do país, são da soja, milho, arroz, cana-de-açúcar e o feijão. (IMAFLOA, 2022).

De acordo o relatório de comercialização de agrotóxicos (IBAMA, 2022), os ingredientes ativos mais vendidos em 2021 foram: glifosato e seus sais, 2,4-d (ou ácido diclorofenoxiacético fluroxipir), mancozebe, clorotalonil e atrazina. Desses 5, o ranking 1,2 e 5 são herbicidas. O Quadro 3 representa o volume de vendas em toneladas de cada ingrediente ativo e seus respectivos rankings.

Quadro 3: Volume do consumo por ingrediente ativo em 2021

Ranking	Ingrediente Ativo	Vendas (ton)
1º	Glifosato e seu sais	219.585,51
2º	2,4-d	62.165,70
3º	Mancozebe	50.340,24
4º	Clorotalonil	38.320,40
5º	Atrazina	37.298,57

Fonte: IBAMA. Adaptada.

Apesar da atrazina estar em quinto lugar no ranking de 2021, é evidente que o número de vendas vem aumentando no decorrer dos anos. Em 2020, por exemplo, houve a venda de 33.321,11 mil toneladas de atrazina no Brasil, sendo esse valor 11% abaixo de 2021. Com exceção de 2019, desde 2017 seu volume vem crescendo constantemente, sendo o terceiro herbicida mais consumido no Brasil. A Figura 3 apresenta as vendas da atrazina no Brasil no decorrer dos anos.

Figura 3: Venda da atrazina por ano



Fonte: IBAMA. Adaptada.

Mesmo com a dominância do glifosato no mercado, a atrazina vem trazendo interesse para as empresas, visto que nos últimos anos (com exceção de 2020) vem crescendo o número de produtos novos criados pela indústria, utilizando a atrazina como seu principal componente. A figura 4 mostra o número de produtos patenteados novos por ano:

Figura 4: Produtos patenteados com atrazina nos últimos anos



Fonte: IBAMA. Adaptada.

De acordo com a Lei Federal nº 7.802/1989, um determinado agrotóxico só pode ser produzido, exportado, importado, comercializado e utilizado se estiver registrado em um órgão federal, respeitando todas as exigências assim determinadas pelos setores governamentais da saúde, meio ambiente e agricultura. Portanto, de acordo com o Artigo 7º do Decreto nº 4.074/2002, o Ministério do Meio Ambiente é responsável por avaliar todos os riscos que esse agrotóxico pode causar ao meio, estabelecendo classificações e seus potenciais danos. De acordo com o Decreto nº 6.099/2007, o IBAMA ficou responsável por realizar essas análises, registros e também controle dos defensivos agrícolas e seus componentes. Portanto, com o objetivo de cumprir a sua função, o IBAMA criou o PPA (potencial de periculosidade ambiental) que compõe uma avaliação científica do agrotóxico, analisando diversas variáveis como solubilidade, adsorção/dessorção em solos, mobilidade, hidrólise, biodegradabilidade, dentre várias outras variáveis, que resulta em uma das classificações mostradas no Quadro 4:

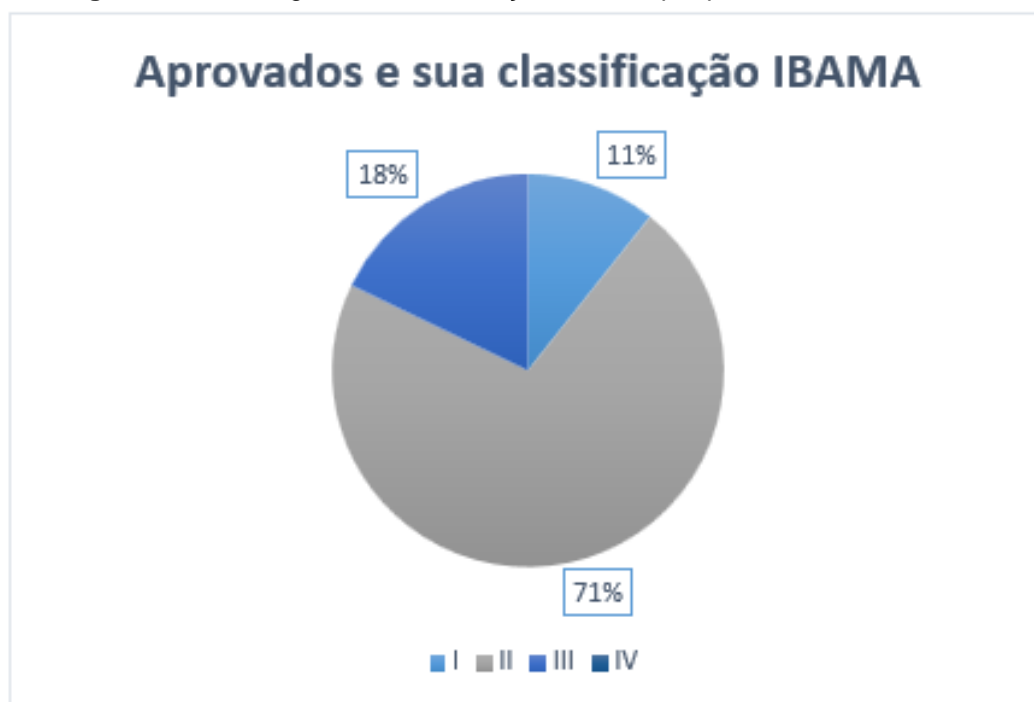
Quadro 4: Classificação toxicológica do agrotóxico determinado pelo IBAMA

Classificação de Periculosidade Ambiental - IBAMA			
I - Produto altamente perigoso ao meio ambiente	II - Produto muito perigoso ao meio ambiente	III - Produto perigoso ao meio ambiente	IV - Produto pouco perigoso ao meio ambiente

Fonte: IBAMA. Adaptada.

Dos 56 novos produtos patenteados com a atrazina na indústria nos últimos anos, 71% deles são de classificação II (muito perigoso ao meio ambiente). As outras categorias estão classificadas na Figura 5:

Figura 5: Porcentagem das classificações IBAMA por produto



Fonte: IBAMA. Adaptada.

Com o constante crescimento do agronegócio no Brasil, é possível observar um aumento no consumo de agrotóxicos e também na quantidade de novos produtos patenteados no decorrer dos anos. É inegável a importância desse setor para a economia do país, porém é preocupante a baixa rigidez dos órgãos públicos para o patenteamento de novos produtos, pois além de cada ano aumentar o número de agrotóxicos liberados, o grau de periculosidade dos produtos é de alto nível.

5. ATRAZINA

Com o objetivo de erradicar as formas de vidas indesejáveis na produção agrícola, os agrotóxicos surgiram e, juntamente com eles, diversos tipos e classes químicas foram atribuídas. São divididos em diferentes categorias, sendo as principais:

- Herbicidas: são agentes químicos ou biológicos que são responsáveis por controlar a população de ervas daninhas, que são prejudiciais às lavouras pois competem pelos nutrientes (prejudicando o crescimento e desenvolvimento da planta desejada) e também são responsáveis por conter doenças e/ou pragas.
- Fungicidas: são agentes químicos responsáveis pelo controle de proliferação de fungos na lavoura.
- Bactericidas: agentes responsáveis pelo controle de bactérias na lavoura
- Inseticidas: responsável por impedir a proliferação de insetos no cultivo.

Na categoria de herbicidas, existem os herbicidas triazínicos (no qual triazina é um grupo químico orgânico caracterizado pela fórmula molecular $C_3H_3N_3$, sendo composto por um anel benzênico e existindo 3 isômeros), que são muito utilizados no controle de ervas daninhas no pré-plantio e pós plantio e mais comumente utilizada nas culturas de cana-de-açúcar, milho e sorgo (cereal chamado de “milho-zaburro” no Brasil) (COUTINHO et al., 2005).

Os herbicidas triazínicos são herbicidas que atuam na fotossíntese, impedindo que a planta absorva luz pela clorofila, ocasionando então a clorose (amarelamento ou esbranquiçamento da planta) e conseqüentemente a degradação das ervas daninhas. O processo de eliminação funciona nas ervas daninhas e não nas culturas plantadas pois as espécies são tolerantes às triazinas, portanto quando há a absorção do agente químico, ele é metabolizado de forma não tóxica, não danificando a lavoura (ROMAN et al., 2005). No Quadro 5, apresenta-se um resumo da classificação da atrazina:

Quadro 5: Classificação da atrazina

Grupo químico	Mecanismo de ação	Ingrediente ativo	Nome comercial (Brasil)
Triazina	Inibidores de FS II	Atrazina	Ametrina agripec, Amitrex, Gesapax, Herbipak, Metrimex Atrazina Nortox, Primóleo, etc.

Fonte: EMBRAPA. Adaptada.

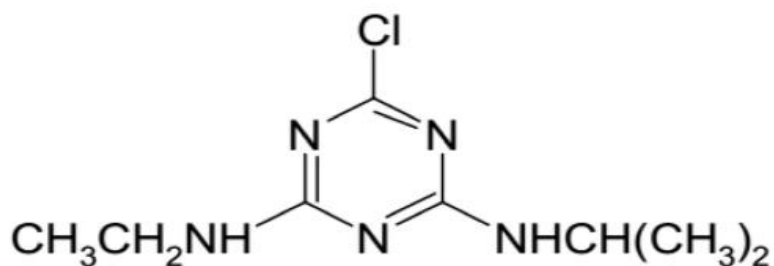
5.1. Estruturas e propriedades químicas

Sendo a maior representante do grupo triazina, a atrazina possui o nome químico 2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-s triazina, com a fórmula $C_8H_{14}ClN_5$. Tem peso molecular 215,69 g/mol e tem como característica ser solúvel em alguns solventes orgânicos (éter, acetona, etanol e acetato de etila são alguns exemplos), é um ingrediente ativo classificado como sistêmico e seletivo, sendo utilizado no controle de ervas daninhas de folhas largas. (JAVARONI et al.,1999)

A atrazina, além de ser um composto polar, possui uma alta estabilidade, que é explicada pelo anel heterocíclico com 3 nitrogênios e 3 carbonos, alternados. Possui solubilidade em água que é independente do pH da solução, mesmo sua presença aumentando essa variável em soluções com pH menor de 2. Possui densidade 1,187 g/cm³, pKa (a 21°C) de 1,7 e ponto de fusão entre 175-177 °C. (JAVARONI et al., 1999)

A figura 6 mostra a estrutura química da atrazina:

Figura 6: Estrutura química da atrazina



Fonte: IUPAC

5.2. Ervas daninhas e dosagens recomendadas

As plantas daninhas causam uma considerável redução de produtividade nas plantações. Em lavouras de milho, por exemplo, ele observou uma perda de 10% até 100% da lavoura, dependendo do volume dessas plantas no local (KOZLOWSKI et al., 2009). Com o objetivo de proteger as culturas, a atrazina foi recomendada para combater as seguintes ervas daninhas do Quadro 6:

Quadro 6: Ervas daninhas erradicadas pela atrazina

Nome popular	Nome científico
Caruru	<i>Amaranthus viridis</i>
Papuã	<i>Brachiaria plantaginea</i>
Capim amoroso	<i>Cenchrus echinatus</i>
Capim colchão	<i>Digitaria horizontalis</i>
Capim pé-de-galinha	<i>Elusine indica</i>
Beldroega	<i>Portulaca oleracea</i>
Guanxuma	<i>Sida rhombifolia</i>
Picão preto	<i>Bidens pilosa</i>
Malva	<i>Sida cordifolia</i>

Fonte: AGROFIT. Adaptada.

O Quadro 7 apresenta alguns produtos comercializados no Brasil com suas respectivas dosagens recomendadas, lembrando que devem ser consideradas o tipo de solo, clima, quantidade de argila no solo e matéria orgânica:

Quadro 7: Herbicidas vendidos no Brasil com atrazina sendo o ingrediente ativo

Nome comercial	Dosagem recomendada
Atrazina Nortox 500 SC	1,5 a 4 kg/há
Proof	2 a 2,5 kg/ha
Atrazina Atanor 50 SC	2 a 3 kg/ha

Fonte: AGROFIT. Adaptada.

6. ATRAZINA E OS EFEITOS EM SERES HUMANOS

Sabe-se que, antes da aprovação de qualquer tipo de agrotóxico para uso no Brasil, os produtos passam por uma série de testes que avaliam seus efeitos nocivos e prejudiciais em seres humanos, animais e meio ambiente no geral. Esses testes são realizados por órgãos governamentais responsáveis, sendo eles o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Mesmo com as autarquias federais garantindo a seriedade e rigorosidade nos testes para a regulamentação desses produtos, ainda existem debates realizados pela comunidade científica e também pela população, que na grande parte defende uma agricultura mais orgânica, sustentável e menos nociva no geral. Um debate que vem ganhando destaque nos últimos anos no mundo, é sobre os efeitos não desejáveis do ingrediente ativo atrazina e seus produtos agroquímicos derivados, levando até ao banimento do mesmo em algumas regiões no mundo, como por exemplo, na Alemanha (desde 1991) e em toda a União Europeia (desde 2004) (PROSEN, 2012).

Uma forma bem comum de representar a toxicidade de um agrotóxico é utilizando o valor da dose média letal (DL_{50}) quando ingerida oralmente, no qual é determinada por uma concentração média do produto que é considerada relevante para matar metade da população de um animal escolhido e utilizado nos testes. A atrazina possui uma DL_{50} de 1,9 a 3,0 g/kg para roedores, 0,9 a 4,0 g/kg para aves e 0,75 g/kg para coelhos. A dose letal é considerada relativamente alta, porém a maior preocupação está na persistência ambiental da atrazina, causando então uma preocupação com bioacumulação e toxicidade crônica (PROSEN et al., 2012)

Em estudos mais antigos, afirmava-se que a exposição de humanos à atrazina, através da alimentação, oferecia um risco mínimo à saúde humana (BRAY et al., 2008). Um estudo mostra resultados à atrazina em duas situações: exposição/consumo agudo (menos de 24 horas) e exposição/consumo anual, no qual as medidas são em exposição ou consumo a cada quilo corpóreo de uma pessoa. O Quadro 8 mostra os resultados:

Quadro 8: Consumo e exposição da atrazina em situações agudas e anuais

	Aguda	Anual
Exposição	5,0 mg/kg	0,5 mg/kg
Consumo	0,234 a 0,957 µg/kg	0,046 a 0,286 µg/kg

Fonte: GAMMON. Adaptada.

Visto que no Brasil, o limite para utilizar o ingrediente ativo atrazina no abacaxi, cana-de-açúcar, banana, pêssgo, e outros alimentos, é de 2 mg/kg por produto vegetal (IARC, 1999), o estudo de GAMMON mostrava que a atrazina não traria riscos à saúde das pessoas (GAMMON et al., 2005)

Um estudo realizado nos Estados Unidos apontou que a exposição à atrazina também não trazia problemas na saúde das pessoas, seu estudo analisou o risco quantitativo em animais traziam doses consideradas altas e seria improvável o consumo desta quantidade por humanos através de alimentos e de água. (SIELKEN JR et al., 2008). Gammon e colaboradores também trouxeram uma análise de uma pessoa envolvida e responsável no carregamento, dissolução e aplicação do ingrediente ativo, em um cultivo de milho nos Estados Unidos, e mesmo utilizando equipamentos de proteção adequados para as atividades, o mesmo estaria exposto a 2,8 mg de atrazina todos os dias e cerca de 5,6% deste valor seria absorvido pela pele. Mesmo não sendo uma quantidade alarmante, é importante ressaltar a importância do uso de equipamentos de segurança pessoal adequados para o manuseio de agroquímicos.

Em estudos mais recentes (dos últimos 10 anos) é possível observar controvérsias em relação aos estudos mais antigos. Carmo e colaboradores relatam que, “embora sejam considerados pouco tóxicos, esses herbicidas possuem alta capacidade de interferência nos sistemas nervoso e endócrino humano”. Já Abass e colaboradores afirmam que, visto que a atrazina é um químico que permanece estável em leite e em água, pode ser ingerido e acarretar possíveis problemas aos seres humanos, trazendo efeitos indesejáveis, tanto neurológicos como reprodutivos.

Em 2011, em Brittany, na França, Chevrier e colaboradores realizaram um estudo que detectou atrazina em urina de inúmeras mulheres grávidas, em que grande parte dos bebês apresentava restrição de desenvolvimento corpóreo e também limitação no crescimento da circunferência craniana, porém não foi comprovado que

essas deformidades foram de fato resultado da contaminação exclusiva da atrazina (estudos posteriores associam a combinação do ingrediente ativo com outras substâncias no organismo que puderam causar tamanha anomalia). No mesmo ano, Cragin e colaboradores mostraram que a atrazina tinha potencial para desajustar o ciclo menstrual de mulheres, realizando atividade antiestrogênica nas mulheres que bebiam água infectada por atrazina. Não afetando somente mulheres, Hase e colaboradores fizeram um estudo que evidenciou a perda da qualidade do sêmen dos homens quando eram expostos ao ingrediente ativo.

Além dos problemas citados, estudos posteriores mostraram um alto risco de aparição de linfomas não-Hodgkin's, um tipo de câncer que surge no sistema linfático, se espalhando de forma não ordenada e sendo um dos mais difíceis a se combater pois ataca diretamente o sistema imunológico, reduzindo a chance do corpo de combater doenças. (INCA, 2022) Além desses também são relatados cânceres nos pulmões e na bexiga (Ross et al., 2003). De acordo com Rusiecki e colaboradores, a atrazina está ligada ao surgimento de mielomas múltiplos (câncer nas células plasmáticas, que é um tipo de glóbulo branco, no qual uma parte dessas células tornam-se cancerígenas e se multiplicam, espalhando-se pelo corpo e além de danificar os ossos, também pode afetar os rins, pois as células estão no sangue, e todo o sistema imunológico, não existindo cura (TODARO et al., 2011)

Simpkins e colaboradores também fizeram uma relação com o consumo do ingrediente ativo através da água contaminada, por mulheres, e relacionando o mesmo a um grande potencial para desenvolvimento de câncer de mama. Lasserre e colaboradores também encontraram uma relação entre o câncer de mama e a atrazina, em seu estudo mostrou-se uma mudança endócrina similar a policlorobifenila 153 (PCB153), afetando as proteínas intracelulares do organismo e desenvolvendo células MCF7 (tipo de célula cancerígena), afetando diretamente o desenvolvimento do corpo, como por exemplo, o formato das células e também o desequilíbrio entre compostos oxidantes e o sistema antioxidante do corpo (estresse oxidativo).

É possível afirmar que existem diversos estudos científicos e livros que dissertam sobre os efeitos da atrazina em humanos e que o número de teses vem crescendo nos últimos anos devido às polêmicas e discussões que esse ingrediente ativo provoca devido a sua proibição em diversos países da Europa. Porém, seus efeitos em humanos são inconclusivos, pois existem muitos estudos que apenas

indicam os possíveis problemas que a atrazina pode trazer às pessoas, assim como existem divergências com estudos antigos com os mais recentes.

7. ATRAZINA E OS EFEITOS AMBIENTAIS

Os estudos realizados para a atrazina quando o tema é avaliação ao risco ambiental, são: efeitos residuais, acúmulo do herbicida na água e acúmulo no solo, sempre levando em conta alguns fatores que influenciam no comportamento do ingrediente ativo, como por exemplo, fatores bióticos, abióticos e também mudanças climáticas (HANG et al., 2007).

No Brasil, a avaliação ambiental é realizada pelo IBAMA e é baseado em testes laboratoriais, semi-campo e campo, envolvendo diversas áreas para uma análise ampla e criteriosa, dentre essas áreas multidisciplinares podem ser citadas a química, estatística, agronomia, toxicologia, dentre outras, assim, podendo estabelecer as principais propriedades do ingrediente ativo, além de informações importantes como a bioacumulação e resíduos ambientais, que ajudarão a concluir qual será o comportamento do agroquímicos no meio ambiente. Baseada em regras e metodologias reconhecidas internacionalmente, a avaliação é uma das etapas da regulação dos agroquímicos, que também envolve revisões, controle e monitoramento, além de fiscalização e informativos de perigos do produto, garantindo assim, o uso seguro do agroquímico e a proteção ao meio ambiente de impactos consideráveis (IBAMA, 2022).

Para os herbicidas, algumas características são consideradas importantes para a avaliação da sua toxicidade, como por exemplo, a sorção, meia-vida (geralmente, se um herbicida possui um tempo de meia-vida alto no solo, ele possui potencial para ser um contaminante aquático) e a solubilidade em água. Esses aspectos são importantes para analisar a contaminação em lençóis freáticos (REBELO et al., 2014).

O tempo de meia-vida da atrazina no solo (ou seja, o tempo para que metade do ingrediente ativo seja extinto do solo) é avaliado em aproximadamente 60 dias, porém, esse valor pode variar de meses até a anos, dependendo muito das propriedades do solo e do ambiente. (KRUTZ et al., 2010). Visto que os estudos realizados, tanto em campo e em condições laboratoriais, consideram o tempo de 60 dias ou menos, observa-se diversos estudos que subestimam a capacidade de impregnação da atrazina no solo.

Chirnside e colaboradores realizaram um estudo com um organismo microbiano que é apto a decompor a atrazina, concluiu que a persistência do ingrediente ativo não deve ser minimizada, pois em 160 dias não foi possível a total mineralização do herbicida. Já na Alemanha (um dos países que proibiu a atrazina em seu território em 1995), foram feitos diversos estudos sobre os resíduos e a persistência do herbicida no solo e foi possível observar resquícios depois de mais de 20 anos sem aplicação no solo (VONBERG et al., 2014).

Jablonowski e colaboradores concluíram que, quando o ingrediente ativo é aplicado continuamente por vários anos, observa-se um solo possivelmente contaminado com o acúmulo do herbicida e seus resquícios, que podem ser problemáticos e ameaçar o meio ambiente, pois podem passar por lixiviação e contaminar lençóis freáticos.

A seguir serão apresentados estudos mais aprofundados sobre os efeitos da atrazina no solo, sua presença em água e seus efeitos em todo o meio aquático.

7.1. Efeitos da atrazina no solo

Na agricultura, sabe-se que os agrotóxicos são aplicados diretamente no solo ou em alguma região das plantas (seja nas folhas, no fruto, no caule ou raiz), resultando então, no agroquímico no solo, causando alterações físico-químicas e desequilíbrio ambiental. Visto a urgência de entender como realizar um uso racional desses produtos, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais, diversos estudos foram realizados para entender como o herbicida atua no solo, porém, existem poucos estudos que relatam esse comportamento em ambientes tropicais.

No Brasil, a Resolução nº 357/05 do CONAMA limita a 0,003 mg/kg a concentração de atrazina no solo. Já para a aplicação não existe um valor limitante e sua dosagem varia para o tipo de solo e também com a recomendação de cada empresa que possui seu produto final patentado com atrazina. Um valor médio utilizado como parâmetro de comparação para as pesquisas a seguir foi de 2 mg/kg, que é a dosagem mais utilizada para o tipo de solo brasileiro.

Sabe-se que o solo tropical tem características específicas, como por exemplo, domínio de minerais de argila, óxidos de ferro e de alumínio, matéria orgânica na CTC (capacidade de troca catiônica) sendo isso a porção de cargas negativas no solo, além da dependência dessas cargas em relação ao pH do solo (MANCUSO et al., 2011).

Por causa do grande volume de herbicidas utilizados nas plantações e que vem aumentando a cada ano, observa-se um efeito residual conhecido como *carryover*, que seria a habilidade do herbicida de manter suas características químicas e físicas muito tempo depois de ter sido aplicado. O *Carryover* pode acabar trazendo efeitos negativos ao meio ambiente, sendo que a capacidade do *carryover* de danificar o meio ambiente depende muito do herbicida utilizado, das condições do solo e ambiente após o uso desse herbicida e também do tipo de cultura utilizado nos pós. O planejamento de cultura é muito importante e deve ser cauteloso, a escolha ideal deve ser uma que dure até o final do efeito residual, para que um ciclo do *carryover* e da plantação se concluam adequadamente (MANCUSO et al., 2011).

Apesar de apresentar impactos menores no solo quando comparado a ambientes aquáticos, algumas pesquisas ainda abordaram problemas consideráveis, como exemplo, Viegas e colaboradores citam que a atrazina pode danificar principalmente vegetais que são acidentalmente afetados na hora da aplicação ou no transporte. Também há estudos que mostram a atrazina sendo responsável por efeitos de mutação em plantas que são aplicadas (MARIN-MORALES et al., 2013).

Caratti e colaboradores realizaram um estudo especificamente sobre o efeito residual da atrazina em culturas de soja, após a plantação de milho (foram escolhidas essas em específico devido a prática comum de agricultores de semear milho no período de safra de julho a janeiro e o restante do ano, soja) por períodos diversificados de 18, 26 e 54 dias após a aplicação do herbicida, verificando a qualidade das sementes de soja colhidas em relação sua germinação. O estudo concluiu que, para o tipo de solo Latossolo Vermelho distroférico típico que possui 69% de teor de argila, 3,2% de matéria orgânica e pH 5,6, a qualidade da soja semeada 18 dias após a aplicação, teve uma produtividade 22% menor em comparação a soja semeada em um solo sem efeitos residuais. Ocorreu um rendimento de 15% menor para soja semeada após 26 dias de aplicação e redução de 8% para 54 dias. Assim, conclui-se que existe uma considerável interferência do efeito residual na produtividade das culturas, assim como uma persistência da atrazina na permanência no solo.

Sheets (1970) afirma que um fator que influencia na degradação da atrazina no solo de forma mais rápida é a variabilidade térmica do local e o número de chuvas dos últimos anos. Um exemplo disso foi um estudo realizado por Brighenti e

colaboradores, 2002 que conduziram pesquisas em Goiás e no Paraná, no qual verificavam qual o efeito residual da atrazina no solo depois de 60 dias aplicado e seus efeitos em uma plantação de girassóis. Concluiu-se que houve um maior rendimento na germinação das sementes depois do período de chuvas de dezembro de 2012. Os autores apontaram que a lixiviação da atrazina, causada pelas chuvas intensas do final e início do ano, influenciaram para um maior rendimento nas culturas, se comparadas com as plantações anteriores a este período.

Delmonte e colaboradores realizaram um estudo na Argentina sobre a taxa de germinação da aveia em solos com efeitos residuais da atrazina, alterando os tipos de solo e aplicando o herbicida na dose recomendada pelo fabricante. Pôde-se concluir que a persistência da atrazina perdurou entre 100 a 221 dias após a sua aplicação, variando de acordo com o solo. Também é válido lembrar que o estudo foi realizado em um país de clima temperado, caracterizado por temperaturas menos elevadas e chuvas menos intensas quando comparado ao clima tropical, resultando em uma permanência da atrazina ao solo em mais dias se comparado ao solo brasileiro, por exemplo. Além da chuva, um clima com baixas temperaturas retarda a degradação da atrazina. De acordo com Brouwer e colaboradores ambientes com climas mais quentes é um dos incentivos para a intensificação da atividade microbiana (e assim, a degradação do herbicida).

Em relação a efeitos negativos em seres vivos invertebrados que habitam o solo, entende-se como praticamente desprezível, visto que as doses consideráveis para causar algum problema são muito mais elevadas do que as recomendações de aplicação pelo fabricante (Solomon e Cooper, 2008). Já para microartrópodes, o cenário também não difere muito, visto que, avaliando um solo com aplicações da atrazina de 2, 4 e 6 kg/ha e um solo sem aplicação do herbicida, não houve diferenças significativas de população das espécies por área (SABATINI et al., 1979).

Sendo um dos invertebrados mais importantes e essenciais para um solo fértil, as minhocas são responsáveis pela aeração natural do local devido aos seus movimentos peristálticos, sendo fundamental para o crescimento das plantas, pois renovam os nutrientes da superfície do solo e facilitam a penetração de água no mesmo. Além disso, as minhocas ingerem porções de terra e restos vegetais gerando húmus, um adubo rico em matéria orgânica e muito nutritivo para as plantas (contendo nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio, etc.) que é gerado de

forma muito mais rápida do que a decomposição natural de resíduos animais e/ou vegetais (SOUZA et al., 2019)

De acordo com Chelinho e colaboradores realizaram um estudo sobre as taxas de reprodução das minhocas (*Eisenia andrei*) após 42 dias de aplicação da atrazina no solo, com dosagens de 2,2 mg/kg (recomendadas pelo fabricante), de 10 e 20 vezes a dosagem recomendada, não gerando mudanças significativas na taxa. Já um estudo feito por Kolekar e colaboradores mostrou que a atrazina aplicada no solo teve influência na geração de enzimas nas minhocas (*Eisenia foetida*) que são responsáveis pelo estresse oxidativo (condição no qual ocorre um desequilíbrio entre a quantidade de compostos oxidantes e a ação do organismo para a remoção/reparo ao mal causado), além de intensificar a peroxidação lipídica (causando destruição da membrana celular das células da minhoca, podendo levá-la a morte).

Binet e colaboradores observaram que minhocas absorvem atrazina pela epiderme, resultando em uma redução de até 12% da sua estrutura, quando comparado aos invertebrados que não são expostos ao ingrediente ativo. Wang e colaboradores realizaram um estudo sobre a influência de diferentes concentrações de atrazina em solo no DNA de minhocas (*Eisenia foetida*) e concluiu-se que para as duas concentrações testadas (0,5 mg/kg e 2,5 mg/kg) em um período de 28 dias, quanto maior a concentração do ingrediente ativo e mais tempo o invertebrado permanece em exposição à atrazina, maior é o dano causado sobre ele.

O agrotóxico também apresentou variabilidade em relação à toxicidade em diferentes espécies de minhoca. Novais e colaboradores estudaram a *Enchytraeus albidus* e comprovou que a atrazina é muito tóxica, pois mesmo utilizando a dosagem recomendada pelo fabricante observou-se uma taxa de redução na procriação em até 50% em apenas 42 dias de exposição. De acordo com Frampton e colaboradores uma dosagem excessiva de atrazina no solo (de 5,3 mg/kg neste experimento) pode afetar no máximo 5% de todas as espécies do local e se a dose fosse muito mais elevada (15 mg/kg) seria letal para 50% da população da espécie *Eisenia foetida*, uma das mais comuns no solo.

Pesquisas sobre microrganismos que aprimoram produções agrícolas vêm aumentado nos últimos anos, principalmente os do reino fungi e monera, que são fungos e bactérias que desempenham papéis fundamentais nas lavouras, como o estímulo de crescimento das mudas e agem contra pragas agrícolas. Um exemplo a

ser citado é a bactéria *Dark septate*, que mesmo não sendo muito popular, vem trazendo resultados positivos no crescimento de várias espécies de vegetais (tomate e arroz, por exemplo) em até 30% e ajuda a armazenar nutrientes nas raízes (nitrogênio e fósforo) e auxilia a adaptação da planta ao solo quando há presença de metais pesados e falta de nutrientes (ZILLI, 2015)

De acordo com Bernardi e colaboradores, são características predominantes do solo brasileiro ser carente em nutrientes e possuir um solo ácido. Sobre os macronutrientes primários, pode-se citar baixas disponibilidades de nitrogênio, fósforo e potássio, já de macronutrientes secundários existe a escassez de cálcio, magnésio e enxofre e por fim, faltam micronutrientes como o zinco e o cobre. Por mais que o Brasil tenha uma produção escalar elevada em grãos, muitas lavouras ainda apresentam um rendimento de produtividade bem abaixo da média, devido à falta de nutrientes do solo, abrindo porta para os produtores agirem a favor do desmatamento para obterem mais área para plantação, ao invés de investirem em adubos orgânicos ou outras soluções mais sustentáveis e econômicas. Neste cenário, as bactérias são aliadas devido sua atuação no solo como fixadores de macronutrientes nas raízes das plantas, além de possibilitar que a presença de fósforo do solo se torne solúvel e então, absorvida pela lavoura, promovendo seu crescimento.

Alguns estudos foram realizados para analisar a influência da atrazina sobre esses microrganismos do solo. De acordo com Moormand e colaboradores, que realizaram experimentos com doses elevadas de atrazina (178 mg/kg e 200 mg/kg) e analisou depois de 182 e 63 dias de aplicação, respectivamente, pode-se concluir que não houve redução de população de bactérias em nenhuma das duas dosagens. Já Kleinschmitt e colaboradores analisaram a população em dois tipos de solos diferentes com a aplicação da atrazina, com uma dosagem de 15kg/ha e não foi identificado nenhuma redução em comparação ao solo antes da aplicação.

Aguilera e colaboradores não encontraram divergência entre um solo com atrazina (1 mg/kg de solo) depois de 60 dias de aplicação e um solo sem agrotóxicos, quando o assunto é atividade enzimática microbiana e respiração dos microrganismos no solo. Porém, Briceño e colaboradores puderam observar um aumento na respiração dos microrganismos no solo quando aplicado pelo menos 1 mg/kg de atrazina, todavia a anormalidade teve uma duração curta, perdurando somente em um período do experimento.

Vryzas e colaboradores relataram em sua pesquisa que houve uma divergência em produção de biomassa microbiana em solo com 2 mg/kg de atrazina se comparado a um solo sem o agrotóxico, porém essa diferença foi observada somente no dia 14 de observação, sendo que a duração foi de 126 dias, todos os outros dias permaneceram constantes. Já Ngigi e colaboradores não puderam observar diferença, tanto na liberação de CO₂ durante 60 dias de observação e de biomassa, com 62 dias de observação, o solo foi tratado com 25 mg/kg do herbicida.

Seghers e colaboradores estudaram diversos grupos microbianos de um solo que continha plantação de milho e um histórico de uso de atrazina e outros herbicidas por aproximadamente 20 anos e, de todos os grupos estudados, somente um grupo de bactérias observou-se uma mudança. No grupo metanotrófico tipo 1 (bactérias que utilizam metano como fonte de energia) ocorreu uma redução de algumas taxas características, porém, não afetou na sua funcionalidade e desempenho como organismo vivo. Huang e colaboradores realizaram um experimento de 2 meses comparando o mesmo tipo de solo, porém um sem a atrazina, um com dosagem de 5 mg/kg e outro com 50 mg/kg e, apesar que notar que houve um acréscimo da atividade de fosfatase do solo, redução da dehidrogenase do solo e uma alteração da biomassa microbiana devido a presença de atrazina, não houve indicação que a quantidade de dosagem de atrazina no solo afetasse mais ou menos as alterações observadas.

Em um experimento realizado por Tortella e colaboradores em uma mistura de solo artificial, palha de trigo e turfa (com proporção de 1:2:1) e com a aplicação da atrazina de 40 mg/kg de solo em intervalos de 30 dias observou-se os efeitos nas atividades das enzimas como a fosfatase ácida, alcalina, fenoloxidase e desidrogenase, no qual houve um declínio nos primeiros dias de aplicação e uma recuperação a normalidade nos próximos dias. Em relação a diversidade microbiana desse solo, não foi possível observar alterações, exceto após os 90 dias de aplicações, no qual houve maior variabilidade de microrganismos no solo com a atrazina aplicada. Além disso, a qualidade e desempenho do conjunto microbiano e da população de bactérias e actinomicetos não foram modificadas com as dosagens. Porém, pode-se observar uma redução na comunidade de fungos a cada aplicação do herbicida, sendo recuperada e estabilizada após 90 dias.

Mesmo as pesquisas relatando sobre a atrazina no solo não ser tão prejudicial se comparado aos efeitos na água, pode-se observar que existem diversas situações,

desde nenhum efeito até alterações notáveis, em microrganismos contidos no ambiente, nos invertebrados, nas lavouras, nos minérios contidos no solo, etc. para diversas situações, variando o tipo de solo, clima do ambiente, quantidade da dosagem aplicada, tempo de aplicação, dentre outros. Portanto é interessante sempre realizar um estudo sobre a caracterização do solo, dosagem indicada, tempo de aplicação e sobre os efeitos nos tipos de lavouras que serão cultivadas no local, além da fauna e flora presentes no ambiente de aplicação.

7.2. Presença da atrazina nas águas

O uso intenso de herbicidas para o controle de ervas daninhas vem preocupando não só o Brasil, mas também o mundo, tendo em vista sua grande capacidade de poluição em água e solos quando o assunto é mobilidade, toxicidade e solubilidade (BLANCO et al., 2013). De acordo com Dellamatrice e colaboradores, devido a sua mobilidade, a atrazina tem sido, constantemente, encontrada não só em águas subterrâneas, mas também em rios, riachos, lagos, pântanos e até em mares.

No Brasil, o Ministério da Saúde (Portaria nº 2.914/2011) estabelece que o padrão de qualidade potável para consumo por seres humanos tem um limite de 2 µg/L. A Resolução nº 396/2008 do CONAMA limita a 5 µg/L a concentração de atrazina na água de consumo de animais e 10 µg/L para irrigar plantações. Para águas doces, o CONAMA estabelece, com a Resolução nº 357/2005 o valor máximo de 2 µg/L de concentração.

Seu efeito residual e sua persistência no meio ambiente é tão forte que uma concentração de 0,1 µg/L, foi encontrada em análises de águas em países da União Europeia em 2014, sendo que a atrazina foi banida dessa região nos anos 90 (VONBERG et al., 2014). Em países no qual a atrazina é utilizada com frequência, nos Estados Unidos, por exemplo, um estudo feito por Elias e colaboradores observou uma presença de atrazina em 78,1% em águas com concentração mínima de 2,4 µg/L até a uma máxima 201 µg/L, sendo o valor muito acima do permitido.

De acordo com Pinheiro e colaboradores, graças aos elevados custos para análises laboratoriais e uma notável falta de estrutura nos laboratórios de pesquisa, a avaliação e monitoramento de agrotóxicos nas águas brasileiras não é uma prática assídua, mesmo com a existência de todas as resoluções ditas anteriormente. Porém,

foi possível encontrar alguns estudos que detectaram concentrações de atrazina em águas, sejam elas subterrâneas ou superficiais, nos últimos anos no Brasil.

Dores e colaboradores detectaram na cidade Primavera do Leste, no Mato Grosso, uma concentração de 0,21 µg/L em um lençol freático em uma região agrícola e 0,07 µg/L em poços tubulares na mesma região. Já Nogueira e colaboradores encontraram, nas cidades de Campo Verde e Lucas do Rio Verde, também no Mato Grosso, uma concentração variando de 0,25 µg/L a 9,3 µg/L em diversos rios e águas superficiais, além de uma concentração de 18,9 µg/L em lençóis freáticos. Armas e colaboradores realizaram um estudo em São Paulo em diversos pontos da sub-bacia do Rio Corumbataí, encontrando uma concentração de 0,3 µg/L a 2,7 µg/L nas águas superficiais. Ainda em São Paulo, Cerdeira e colaboradores tiveram resultados positivos na bacia hidrográfica do espraiado, no qual identificou em águas superficiais uma concentração de 0,02 µg/L a 0,09 µg/L e sem detecção em águas subterrâneas da região. No Ceará, na cidade de Tianguá, Arraes e colaboradores detectaram concentrações acima de 2 µg/L em águas subterrâneas na cidade, em 51 amostras diferentes. Bortoluzzi e colaboradores realizaram estudos no Rio grande do Sul na microbacia hidrográfica de Agudo e observou pequenas concentrações de atrazina, de 0,19 a 0,63 µg/L, em águas superficiais que se situavam próximas das áreas de lavouras que fazia uso do herbicida.

Observa-se uma correlação entre a presença da atrazina em águas, sejam elas subterrâneas ou não, e o acontecimento de chuvas intensas ou irrigação da lavoura após a aplicação do herbicida. Botelho e colaboradores afirmam que, quanto menor o tempo entre a aplicação da atrazina no solo e a ocorrência de chuvas e irrigações no local, maiores as chances de encontrar atrazina nas águas, devido a lixiviação. De acordo com Viegas e colaboradores, mesmo parecendo que os danos causados em águas sejam similares aos efeitos causados no solo, é possível observar que a atrazina tem uma persistência maior de contaminação em águas principalmente em águas subterrâneas, pois sua presença é muito mais constante.

Da mesma forma que ocorre com os seres vivos no solo, na água também não existem muitos estudos que analisam os efeitos de agrotóxicos na vida aquática, mesmo sabendo que herbicidas tem potencial para estresse e alterações de estruturas em reinos deste ambiente (DeLORENZO et al., 2001). De acordo com Ramakrishnan

e colaboradores a atrazina apresenta maior toxicidade para organismos capazes de absorver luz para a realização de fotossíntese.

A atrazina pode alterar diretamente plantas fotossintetizantes, principalmente na sua produtividade e no equilíbrio do ecossistema que estão inseridas. Um exemplo é causar efeitos indiretos no meio, como afetar grupos de animais e organismos herbívoros, que se alimentam das plantas do ambiente (SOLOMON et al.,1996). Portanto, os efeitos negativos que a atrazina reflete nas plantas aquáticas afetam de forma negativa a fauna do meio, pois além de alterar o organismo dos herbívoros, o agrotóxico também reduz a taxa de reprodução das plantas, diminuindo a quantidade de alimento disponível para os seres vivos do local (GRAYMORE et al.,2001).

Visto que cianobactérias, algas e microcrustáceos são a base da cadeia alimentar de ambientes aquáticos, os testes de toxicidade são realizados nesses 3 organismos e assim avalia-se o risco que o produto pode trazer para o ambiente, realizando testes para observar como pode afetar todo o ecossistema. (CLEMENTE et al.,2013). As análises realizadas nesses organismos quando o produto em si é a atrazina, varia bastante, as respostas dependem bastante da espécie do organismo, das concentrações do herbicida no meio e também no tempo em que eles são expostos (DeLORENZO et al.,2001).

De acordo com Chalifour (2011), em seu estudo realizado sobre efeitos negativos da atrazina em organismos bases de cadeia alimentar, observou-se que em algas verdes e duas linhagens de cianobactérias, o efeito tóxico é maior quando estão em temperaturas abaixo do meio. Stratton e colaboradores realizaram uma pesquisa sobre taxa de crescimento de algas e pôde observar, para concentrações variando de 100 a 5000 µg/L no meio, um decrescimento em cinco tipos diferentes de algas.

DeLorenzo e colaboradores analisaram o mesmo parâmetro para algumas espécies específicas e para uma concentração de 50 µg/L não observaram nenhum efeito para *Phaeodactylum tricornutum*, um tipo de diatomácea. Da mesma espécie, para *Skeletonema costatum* e variando a concentração entre 13 a 22 µg/L, o dano foi de decrescimento e fluorescência da espécie, após 5 dias de exposição. Já para as diatomáceas da família *Cyclotella* e *Synedra* observou-se um atraso na taxa de crescimento das culturas, sendo possível observar a retomada após 28 dias de exposição, para concentrações variando de 90 a 429,78 µg/L. Para algas verdes, a espécie *Nannochloris oculata* (exposta a 50 µg/L do herbicida) apresentou uma taxa

de crescimento 35% abaixo se comparado a culturas não expostas à atrazina. Para *Chlorella vulgaris* e *Stigeoclonium tenue* mesmo na presença de baixas concentrações de atrazina (1 µg/L) observou-se, após 7 dias de exposição, um teor de clorofila reduzindo até 67%. Para as espécies *Chlamydomonas reinhardtii* e *Scenedesmus quadricauda* tiveram inibição de crescimento em cerca de 85% e 60%, respectivamente.

Clemente e colaboradores observaram que 50% da concentração que provoca um efeito máximo (EC₅₀) é de 97,06 µg/L para o crescimento de algas de espécie *Pseudokirchneriella subcapitata*, após 96 horas de exposição. Já para microcrustáceos da espécie *Daphnia similis*, não houveram alterações para concentrações aplicadas até 28 mg/L. De acordo com Elias e colaboradores o mesmo resultado também foi observado para microcrustáceos (a uma concentração de 250 µg/L) e para algas verdes (100 µg/L).

Chelinho e colaboradores, é possível indicar que a atrazina é prejudicial ao ecossistema aquático pois, de acordo com seus experimentos, a partir do extrato aquoso de solos de plantações agrícolas, que foram aplicados a quantidade recomendada de atrazina (aproximadamente 2 mg/kg de solo), foi inserido ao meio aquático no qual existiam algas da espécie *Pseudokirchneriella subcapitata* e microcrustáceos da espécie *Daphnia magna* e foi diagnosticado uma alta toxicidade na taxa de crescimento e taxa de reprodução, respectivamente. Palma e colaboradores realizaram experimentos com a exposição de microcrustáceos à atrazina e, para a espécie *Daphnia magna*, que foi exposta em uma concentração de 500 µg/L por 21 dias, pode-se observar 46% de redução na taxa de reprodução. Também determinou, para essa espécie, uma EC₅₀ de 420 µg/L quando se fala sobre desenvolvimento embrionário dos microcrustáceos. Já para os testes de Moreira e colaboradores, no qual avaliaram a toxicidade do herbicida para algumas espécies de microcrustáceos (usando rios que já estavam contaminados para estudo), pode concluir que a EC₅₀ variou de 12,37 mg/L para *Macrothrix flabelligera*, 14,30 mg/L para *Ceriodaphnia silvestrii* até 51,41 mg/L para *Daphnia magna*, todos os casos com exposição de 48 horas do agrotóxico.

Animais da classe gastrópode, representada por lesmas, caracóis, búzios, caramujos e outros, são conhecidos por serem animais aquáticos que residem em locais com água doce ou salgada. Gerald e colaboradores analisaram o

comportamento do gastrópode *Potamopyrgus antipodarum* que foi exposto a concentrações de 10 e 50 µg/L de atrazina e observou-se que não houve alterações consideráveis no crescimento e taxa de reprodução do animal, somente redução de velocidade de locomoção. Mesmo os efeitos sendo desprezíveis nessa espécie, muitos estudos foram realizados e cientistas relataram que os efeitos mais prejudiciais devam ocorrer em moluscos pulmonados e caracóis, resultando em efeitos tóxicos mais agravados e bioacumulação. Santos e colaboradores realizaram testes nos animais bivalves de espécie *Corbicula fluminea* e observou, para concentrações de 2 e 10 µg/L de atrazina, efeitos como detoxificação e interferência em biotransformações na amêijoia-asiática. Já Bouilly e colaboradores estudaram a espécie bivalve *Crassostrea gigas* e observou danos genéticos quando os animais foram expostos ao herbicida por 3 meses, em concentrações de 10 e 100 µg/L. De acordo com Renault é possível observar uma grande variabilidade de efeitos (ou ausência) em animais gastrópodes, visto que existe registro de efeitos severos como mortalidade de espécies, alterações genéticas, redução de reprodução, dentre outros. Visto que a avaliação varia muito de acordo com a espécie analisada, ambiente, temperatura, concentração da atrazina e outros fatores, é muito difícil avaliar o efeito do herbicida nesses animais, podendo concluir apenas que dificilmente existirá a ausência deles.

Solomon e colaboradores realizaram um estudo sobre os efeitos da atrazina em peixes e determinou que a concentração que resulta na eliminação de metade do cardume é acima de 2 mg/L. Steinberg e colaboradores concluíram que a concentração de 5 µg/L de atrazina é capaz de alterar completamente o comportamento do peixe *Brachydanio rerio* (peixe-zebra). Já Xing e colaboradores avaliaram como a espécie de peixe *Cyprinus carpio* (também conhecidas como carpas) se comportam na presença de concentrações cada vez mais crescentes de atrazina no meio, as variações foram de 4,28, 42,8 e 428 µg/L e pode-se observar estresse e também a presença do ingrediente ativo em todos os peixes após 40 dias em contato. Ventura e colaboradores analisaram tilápias (espécie *Oreochromis niloticus*) que estavam na presença de atrazina em concentrações variadas de 6,25, 12,5 e 25 µg/L e observou mutações genéticas e cromossômicas.

Além disso, alguns estudos também vêm trazendo à tona impactos da atrazina em anfíbios, principalmente quando relacionado a aspectos hormonais e reprodutivos, alguns exemplos comuns e que podem ser citados são: atraso no desenvolvimento

dos animais, hermafroditismo e a troca de sexo de macho para fêmea em sapos, no qual a longo prazo poderá trazer o declínio na quantidade no local. (MARIN-MORALES et al., 2013). Gammon e colaboradores no entanto, discordam desses estudos, afirmando que, a partir de seus experimentos, não há a possibilidade da atrazina alterar os desenvolvimentos de qualquer animal aquático, sejam eles anfíbios, répteis ou peixes, pois para isso ocorrer, as concentrações deveriam ser severamente mais elevadas no ambiente. Da mesma forma, Rohr e colaboradores realizaram um levantamento na literatura sobre o tema e observou que não existem pesquisas que provam a consistência da atrazina no meio com a mortalidade de peixes e anfíbios, contudo, encontraram diversas pesquisas que demonstram que herbicidas no geral podem indiretamente ser letais a esses organismos, também há incertezas sobre qual é o verdadeiro potencial do efeito da atrazina no sistema reprodutivo, alterações hormonais e consequentemente desequilíbrio populacional, de ambas as classes de animais. De acordo com Bruhl e colaboradores, não é muito esclarecedor os efeitos da atrazina nos anfíbios, mesmo eles absorvendo o herbicida em grande quantidade via cutânea.

Os protozoários são seres unicelulares e heterotróficos que são classificados de acordo com sua locomoção, são seres vivos importantes na presença de um ambiente saudável, visto que possuem um importante papel de remoção de bactérias de águas residuárias e também participam de processos de purificação de ecossistemas naturais. Predominantemente de água doce, observa-se a baixa presença ou ausência quando a água se encontra muito poluída (CURDS, 1992). De acordo com Stanley e colaboradores, concentrações de até 102 µg/L de atrazina na água não afetou na população de protozoários em um rio, porém influenciou na redução de bactérias que combatiam patógenos que afetam o habitat, causando um impacto indireto na qualidade da água. Já Elias e colaboradores mostraram que concentrações altas de até 200 µg/L não afetam microrganismos marinhos, isso se deve ao fato que a atrazina é mais prevalente em água do que nos sedimentos, além de ter menos efeito em organismos heterotróficos.

Para Solomon e colaboradores os fitoplânctons são os seres vivos mais sensíveis à atrazina, seguido das macrófitas, invertebrados marinhos, zooplânctons e, por fim, peixes. Para algas e macrófitas, o efeito tóxico é observado a partir de concentrações de 20 µg/L, porém, toxicidade crônica pode ser observada em

concentrações 10 vezes menores. Giddings e colaboradores relatam que a toxicidade aguda só deve ocorrer quando a atrazina está em concentrações extremamente elevadas (entre 1.000 µg/L e 200.000 µg/L).

Há diversas variáveis que podem influenciar na intensidade dos efeitos tóxicos da atrazina no meio aquático, desde sua concentração na água até no tipo de solo lixiviado que o herbicida foi aplicado. Apesar de muitos estudos minimizarem os efeitos da atrazina na água, é interessante lembrar que, além das pesquisas mostrarem a existência do impacto indireto nos seres vivos a partir da intoxicação em organismos e plantas que são a base da cadeia alimentar, também existem pesquisas revelando a persistência do herbicida no meio aquático, mostrando como sua completa decomposição é extremamente lenta. Devido à enorme complexidade de espécies existentes no ambiente aquático, não é possível mensurar precisamente o quão danoso é o herbicida, porém é nítido que, a longo prazo, não é possível observar melhoras do habitat com a sua presença.

8. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE HERBICIDAS

Apesar de existirem diversos tipos de pesticida e inúmeros produtos patenteados, seu processo de produção tende a ser bem simples pois se resume a misturar produtos químicos, sejam eles inorgânicos ou orgânicos, com o ingrediente ativo, sempre com o objetivo de aumentar o desempenho do formulado principal.

O processo de produção é composto por duas etapas: a produção do ingrediente ativo e a formulação do produto. Visto que ingredientes ativos são patenteados é bem comum as grandes indústrias comprarem o ingrediente ativo pronto e utilizá-lo na produção de suas próprias formulações (MATHIAS et al. 1993).

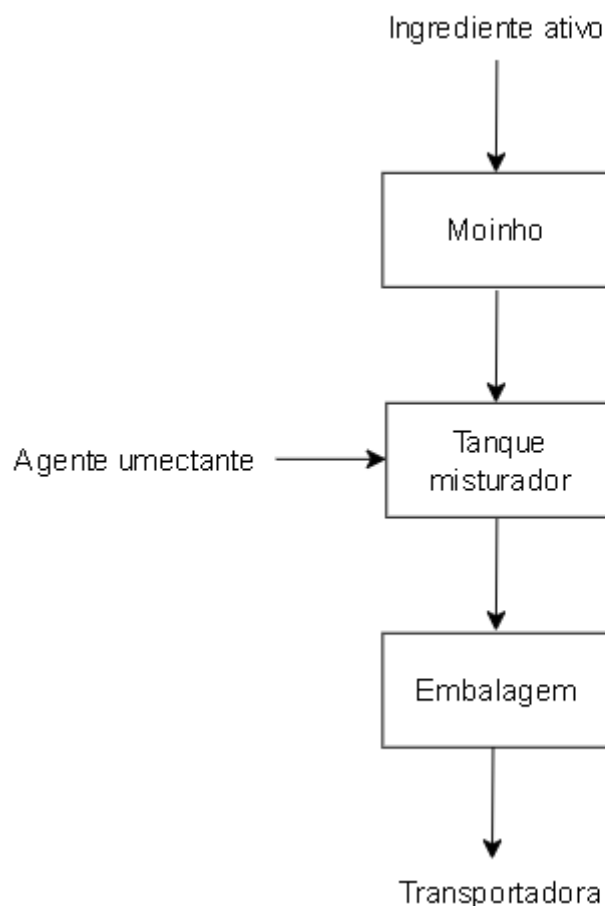
O processo de produção do ingrediente ativo consiste em misturar e/ou diluir o ingrediente ativo em um ou mais solventes, em produtos químicos inerentes ou somente aplicar algum corante (geralmente sem envolver nenhuma reação química). Os ingredientes ativos são formulados para diversos tipos de agrotóxicos (herbicidas, fungicidas, etc) e são fabricados pensando na aplicação direta na lavoura então são vendidos geralmente na forma de pós ou grânulos concentrados para diluição, misturas concentradas ou aerossóis (MATHIAS et al.,1993).

Apesar dos ingredientes ativos serem feitos desta forma, seu foco maior é ser um negócio B2B (business to business), ou seja, o foco para as grandes indústrias

são as vendas, enquanto os agricultores compram o produto final formulado pois, além de possuir maior estabilidade, melhor rendimento, mais inovação e tecnologia, também existe uma maior divulgação das marcas comercializadas, além de novos lançamentos todos os anos (MATHIAS et al.,1993).

A Figura 7 mostra um diagrama contendo um exemplo de produção de ingredientes ativos, no qual inicia-se com a entrada do ingrediente ativo em um moedor e então para um tanque misturador, no qual é inserido um agente umectante. Após a mistura o produto é embalado e pronto para ser enviado aos consumidores.

Figura 7: Diagrama de blocos simplificado para produção do ingrediente ativo



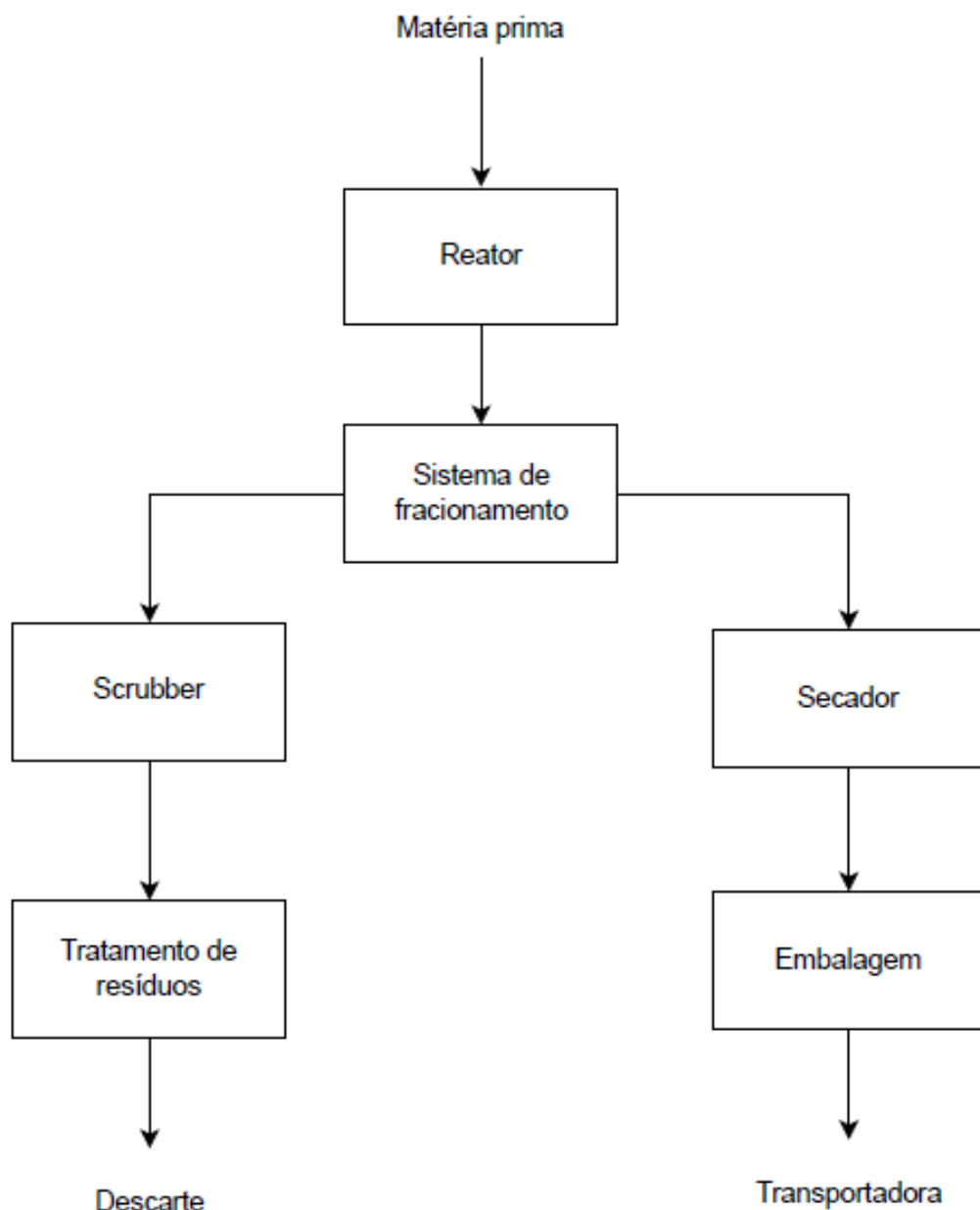
Fonte: Adaptado MATHIAS, 1993; MURRAY, 1993; MACARTHUR, 1993.

Devido aos inúmeros produtos únicos patenteados pelas empresas, o processo de fabricação não é padronizado, podendo ser bem simples contendo uma única etapa de mistura entre o ingrediente ativo e um produto químico estabilizante ou pode ser extremamente complexo, com diversas etapas e reações químicas, transformando

completamente o ingrediente ativo. Os produtos químicos utilizados para produzir o herbicida final inclui compostos orgânicos e/ou inorgânicos e grande parte das vezes, os produtos são produzidos em bateladas (MATHIAS et al.,1993).

No diagrama de blocos abaixo é possível entender a produção de um herbicida, começando com a entrada de matéria-prima (no qual inclui os produtos químicos e o ingrediente ativo) em um reator, depois passa por um sistema de fracionamento, no qual uma parte é enviada ao secador e depois embalado e enviado ao consumidor, já a outra parte é enviada ao depurador e então para tratamento, para ser descartado no final.

Figura 8: Diagrama de blocos simplificado para produção de herbicidas



Fonte: Adaptado MATHIAS, 1993; MURRAY, 1993; MACARTHUR, 1993.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da revolução verde ter trazido benefícios para o crescimento e desenvolvimento do agronegócio no Brasil, junto dela também veio uma concretização do monopólio de algumas indústrias e um avanço acelerado sem uma conscientização sustentável. Junto com a revolução verde também vieram, com o decorrer dos anos, um crescente aumento da participação da agricultura no PIB.

Nos relatórios anuais divulgados pelo IBAMA, foi possível observar um aumento de vendas de ingrediente ativo, sendo os herbicidas responsáveis por grande parte desse volume. Além disso, novos agrotóxicos foram registrados nos últimos anos, sendo 2021 o maior número de patentes novas liberadas pelo governo, no qual a atrazina registra um salto de apenas 9 produtos para 21, em 2021, isso se deve ao fato do primeiro herbicida mais vendido do mundo, o glifosato, ter aumentado bruscamente o preço nos anos da pandemia devido a sua escassez, favorecendo um maior destaque para a venda de atrazina e 2,4-d, que possuem preços mais competitivos. Pela classificação do IBAMA de periculosidade, 71% dos últimos agrotóxicos liberados com a presença de atrazina, são de nível II (muito perigoso ao meio ambiente).

A atrazina é o terceiro ingrediente ativo (utilizado em herbicidas) mais produzido no Brasil, sendo ele considerado um herbicida triazínico, que atua impedindo que o processo de fotossíntese ocorra, degradando a erva daninha. Seus efeitos em seres humanos são inconclusivos, visto que há muitas divergências entre as pesquisas mais antigas, que afirmam que a atrazina não traz problemas aos seres humanos, com os estudos mais recentes, que relatam problemas desde o mau funcionamento do sistema nervoso e endócrino até problemas hormonais e mau desenvolvimento de embriões. Já para o meio ambiente, é comprovado uma forte persistência da atrazina no meio, um exemplo, é terem encontrado resíduo do mesmo na Alemanha, depois de 20 anos de aplicação. Muitos outros estudos também mostraram que, após uma aplicação contínua, é possível observar um solo extremamente contaminado devido ao acúmulo e seus resquícios, ameaçando desde o solo até lençóis freáticos.

A presença da atrazina no solo, de acordo com os estudos, mostrou-se interferindo em diversos microrganismos e na flora ao redor das lavouras. Também pode-se observar que uma análise dos efeitos prejudiciais da atrazina depende muito do tipo de solo que está sendo aplicado, temperatura, *carryover*, dentre

outros, mostrando variabilidade de efeitos quando aplicada no solo. No meio aquático, existe um impacto indireto em toda a vida aquática, visto que a contaminação é feita nos organismos bases da cadeia alimentar. Assim como no solo, nesse meio é possível observar a persistência do herbicida no meio, mostrando que sua decomposição é extremamente lenta. Devido à enorme complexidade de espécies existentes no meio, é muito difícil analisar precisamente o quão danoso é a atrazina para as águas, porém existem efeitos a serem considerados devido a sua presença no habitat.

A partir das revisões bibliográficas foi possível entender que existem diversos motivos para banir a atrazina de uso, pois é um herbicida altamente persistente no solo, o que significa que ele pode permanecer ativo por anos após a aplicação, levando ao acúmulo de resíduos em ecossistemas aquáticos e terrestres, causando danos à flora e fauna local. A exposição à atrazina também pode levar à contaminação de aquíferos, prejudicando a qualidade da água potável. A atrazina também têm sido associadas a uma série de efeitos adversos à saúde humana, incluindo problemas hormonais, reprodutivos e de desenvolvimento.

No Brasil, infelizmente, mesmo as pesquisas demonstrando os danos causados a todos, é muito difícil ocorrer uma mudança por parte dos agricultores para outras alternativas, como o uso do fungo *Dark septate* que atua contra as ervas daninhas seletivamente, por exemplo, ou até mesmo usando produtos mais sustentáveis que existem no mercado, pois não existe a garantia para o agricultor na sua eficácia e muitas vezes o preço não é competitivo no mercado, fazendo com que o uso da atrazina seja continuamente utilizado.

10. REFERÊNCIAS

ABASS, K.; LÄMSÄ, V.; REPONEN, P.; KÜBLBECK, J.; HONKAKOSKI, P.; MATTILA, S. **Characterization of human cytochrome P450 induction by pesticides.** Toxicology, v. 294, n. 01, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2012.01.010>. Acesso em setembro de 2022.

AGROFIT. Ministério da Agricultura. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários.** Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: junho de 2022.

Agrotóxicos químicos e biológicos. IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos, 2022. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/182-quimicos-e-biologicos/agrotoxicos>. Acesso em: janeiro de 2022.

AGUILERA, O.; BRICEÑO G.; CANDIA, M.; MORA, M. L.; DEMANET, R.; PALMA, G. **Effect of dairy manure rate and the stabilization time of amended soils on atrazine degradation.** Chemosphere, v. 77, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.020>. Acesso em: novembro de 2022.

ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R.; ANTUNES, P. M.; SANTOS, M. A. P. F.; CAMARGO, P. B.; ABAKERLI, R. B. **Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do rio Corumbataí e principais afluentes.** Química Nova 30, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000500013>. Acesso em: novembro de 2022.

ARRAES, A. A.; BARRETO, F. M. S.; ARAÚJO, J. C. **Use of atrazine and groundwater availability in Brazil: case study Tianguá.** In: 13th IWRA World Water Congress, 2008. Disponível em: https://iwra.org/congress/2008/resource/authors/abs204_article.pdf. Acesso em: dezembro de 2022.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A., SILVA, C. A. **Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. Disponível

em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215165/1/Fertilidade-do-solo-e-demanda-por-nutrientes-no-Brasil-2002.pdf>. Acesso em: novembro de 2022.

BINET, F.; KERSANTÉ, A.; MUNIER-LAMY, C.; LE BAYON, R. C.; BELGY, M. J.; SHIPITALO, M. J. **Lumbricid macrofauna alter atrazine mineralization and sorption in a silt loam soil**. *Soil Biology & Biochemistry*, v.38, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.09.018>. Acesso em: setembro de 2022.

BLANCO, F. M. G.; ALMEIDA, S. D. B.; MATALLO, M. B. **Herbicide-soil interactions applied to maize crop under Brazilian conditions** (Cap. 3), 2013.

BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R.; MARONEZE, A. M.; KURZ, M. H. S.; BACAR, N. M.; ZANELLA, R. **Investigation of the occurrence of pesticide residues in rural wells and surface water following application to tobacco**. *Química Nova*, v. 30, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000800014>. Acesso em: dezembro de 2022.

BOTELHO, R. G.; CURY, J. P.; TORNISIELO, V. L.; SANTOS, J. B. **Herbicides and the aquatic environment** (Cap. 9). In: HASANEEN, M. N. A. E. (Ed.). *Herbicides – Properties, Synthesis and Control of Weeds*. Rijeka: Intech, 2012.

BRAY, L. D.; SZARKA, A. Z.; HEARD, N. E.; HACKETT, D. S.; KAHRS, R. A. **Dietary exposure assessment of the triazine herbicides** (Cap. 27). In: LEBARON, H. M.; McFARLAND, J. E.; BURNSIDE, O. C. *The triazine herbicides*. Amsterdam: Elsevier, 2008.

BRICEÑO, G.; JORQUERA, M. A.; DEMANET, R.; MORA, M. L.; DURÁN, N.; PALMA, G. **Effect of cow slurry amendment on atrazine dissipation and bacterial community structure in an agricultural Andisol**. *Science of the Total Environment*, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.014>. Acesso em: novembro de 2022

BRIGHENTI, A. M.; MORAES, V. J.; OLIVEIRA Jr., R. S.; GAZZIERO, D. L. P.; VOLL, E.; GOMES, J. A. **Persistência e fitotoxicidade do herbicida atrazine aplicado na cultura do milho sobre a cultura do girassol em sucessão.** *Planta Daninha*, v. 20, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000200016>. Acesso em: novembro de 2022.

BRÜHL, C. A.; PIEPER, S.; WEBER, B. **Amphibians at risk? Susceptibility of terrestrial amphibian life stages to pesticides.** *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.30, 2011.

CARATTI, F. C.; REINEHR, M.; FABIANI, M. F.; TURRA, M. A.; BASSO, C. J.; LAMEGO, F. P. **Efeito residual de atrazina na cultura da soja.** In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. Londrina: SBCPD, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1020053/1/trab37723526.pdf>. Acesso em: outubro de 2022.

CARMO, D. A.; CARMO, A. P. B.; PIRES, J. M. B.; OLIVEIRA, J. L. M.; **Comportamento ambiental e toxicidade dos herbicidas atrazina e simazina.** *Revista ambiente & água - An interdisciplinary journal of applied science*. v. 8, n.1, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1073>. Acesso em: agosto de 2022.

CERDEIRA, A. L.; SANTOS, N. A. G.; UETA, J.; SHUHAMA, I. K.; PESSOA, M. C. P. Y.; SMITH JR., S.; LANCHOTE, V. L. **Atrazine in water and biodegradation in a recharge area of Guarany Aquifer in Brazil.** *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 73, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00128-004-0402-4>. Acesso em: dezembro de 2022.

CHALIFOUR, A.; JUNEAU, P. **Temperature-dependent sensitivity of growth and photosynthesis of *Scenedesmus obliquus*, *Navicula pelliculosa* and two strains of *Microcystis aeruginosa* to the herbicide atrazine.** *Aquatic Toxicology*, v. 103, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.01.016>. Acesso em: dezembro de 2022.

CHELINHO, S.; MOREIRA-SANTOS, M.; LIMA, D.; SILVA, C.; VIANA, P.; ANDRÉ, S.; LOPES, I.; RIBEIRO, R.; FIALHO, A. M.; VIEGAS, C. A.; SOUSA, J. P. **Cleanup of atrazine-contaminated soils: ecotoxicological study on the efficacy of a bioremediation tool with Pseudomonas sp.** Journal of Soils and Sediments, v. 10, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0145-2>. Acesso em: setembro de 2022.

CHEVRIER, C.; LIMON, G.; MONFORT, C.; ROUGET, F.; GARLANTÉZEC, R.; PETIT, C. **Urinary biomarkers of prenatal atrazine exposure and adverse birth outcomes in the PELAGIE Birth Cohort.** Environmental Health Perspectives, v. 119, n. 7, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1289%2Fehp.1002775>. Acesso em: setembro de 2022.

CHIRNSIDE, A. E. M.; RITTER, W. F.; RADOSEVICH, M. **Biodegradation of aged residues of atrazine and alachlor in a mix-load site soil.** Soil Biology & Biochemistry, v. 41, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.09.005>. Acesso em: setembro de 2022.

CLEMENTE, Z.; GRILLO, R.; JONSSON, M.; SANTOS, N. Z. P.; FEITOSA, L. O.; LIMA, R.; FRACETO, L. F. **Ecotoxicological evaluation of poly(epsilon-caprolactone) nanocapsules containing triazine herbicides.** Journal of Nanoscience and Nanotechnology, v.13, 2013. Disponível em: [10.1166/jnn.2014.8681](https://doi.org/10.1166/jnn.2014.8681). Acesso em: dezembro de 2022.

CRAGIN, L. A.; KESNER, J. S.; BACHAND, A. M.; BARR, D. B.; MEADOWS, J. W.; KRIEG, E. F. **Menstrual cycle characteristics and reproductive hormone levels in women exposed to atrazine in drinking water.** Environmental Research, v. 111, n. 08, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2011.09.009>. Acesso em: setembro de 2022

COUTINHO, C. F. B.; TANIMOTO, S. T.; GALLI, A.; GARBELLINI, G. S.; TAKAYAMA, M.; AMARAL, R. B.; MAZO, L. H.; AVACA, L. A.; MACHADO, S. A. S. **Pesticidas: mecanismo de ação, degradação e toxidez**. Curitiba. v. 15, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/viewFile/4469/3518>. Acesso em: abril de 2022.

DELMONTE, A. A.; BEDMAR, F.; MANTECÓN, J. D.; ECHEVERRÍA, H.; BARASSI, C. A. **Persistence of the biocide activity of atrazine in soils of the southeast of Buenos Aires Province**. Planta Daninha, Viçosa, v. 14, n. 2, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83581996000200004>. Acesso em: novembro de 2022.

DELORENZO, M. E.; SCOTT, G. I.; ROSS, P. E. **Toxicity of pesticides to aquatic microorganisms: a review**. Environmental Toxicology and Chemistry, v. 20, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/etc.5620200108>. Acesso em: novembro de 2022.

DORES, E. F. G. C.; RIBEIRO, M. L.; PINTO, A. A.; CUNHA, M. L. F.; CARBO, L.; SANTOS, D. G. G.; SOUZA, L. **Herbicidas em águas superficiais e subterrâneas em áreas agrícolas em Primavera do Leste, Mato Grosso**. In: Anais da 56a Reunião Anual da SBPC, 2004.

ELIAS, D.; BERNOT, M. J. **Effects of atrazine, metolachlor, carbaryl and chlorothalonil on benthic microbes and their nutrient dynamics**. PLOS ONE, v. 9, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109190>. Acesso em: novembro de 2022.

FRAMPTON, G. K.; JÄNSCH, S.; SCOTT-FORDSMAND, J. J.; RÖMBKE, J.; VAN DEN BRINK, P. J. **Effects of pesticides on soil invertebrates in laboratory studies: a review and analysis using species sensitivity distributions**. Environmental Toxicology and Chemistry v. 25, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1897/05-438R.1>. Acesso em: setembro de 2022.

FUGLIE, K. O.; WANG, S. L.; BALL, E. **Productivity growth in agriculture: an international perspective.** *Experimental agriculture*. v. 49, n.3, 2012.

GAMMON, D. W.; ALDOUS, C. N.; CARR JR., L. C.; SANBORN, J. R.; PFEIFER, K. F. **A risk assessment of atrazine use in California: human health and ecological aspects.** *Pest Management Science* 61, 2005.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; VALDES, C.; BACCHI, M. R. P. **Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas.** *Revista de Política Agrícola*, XXI, v. 3, 2012.

GERARD, C.; POUILLAIN, V. **Variation in the response of the invasive species *Potamopyrgus antipodarum* (Smith) to natural (cyanobacterial toxin) and anthropogenic (herbicide atrazine) stressors.** *Environmental Pollution*, v. 138, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.02.028>. Acesso em: dezembro de 2022.

GIDDINGS, J. M.; HALL JR., L. W. **The aquatic ecotoxicology of triazine herbicides** (Cap. 27). In: BALLANTINE, L. G.; McFARLAND, J. E.; HACKETT, D. S. (Eds.). *Triazine herbicides: risk assessment.* ACS Symposium Series 683. Washington: American Chemical Society, 1998.

GRAYMORE, M.; STAGNITTI, F.; ALLINSON, G. **Impacts of atrazine in aquatic ecosystems.** *Environment International*, v. 26, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00031-9](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00031-9). Acesso em: novembro de 2022.

HANG, S.; NASSETTA, M.; CAÑAS, A. I.; RAMPOLDI, E. A.; FERNÁNDEZ-CANIGIA, M. V.; DÍAZ-ZORITA, M. **Changes in the atrazine extractable residues in no-tilled Mollisols.** *Soil & Tillage Research*, v. 96, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.06.003>. Acesso em: setembro de 2022.

HASE, Y.; TATSUNO, M.; NISHI, T.; KATAOKA, K.; KABE, Y.; YAMAGUSHI, Y. **Atrazine binds to F1F0-ATP synthase and inhibits mitochondrial function in sperm.** *Biochemical and Biophysical Research Communications*, v. 366, n. 01, 2008.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrc.2007.11.107>. Acesso em setembro de 2022.

HUANG, H.; ZHANG, S.; WU, N.; LUO, L.; CHRISTIE, P. **Influence of *Glomus etunicatum*/Zea mays mycorrhiza on atrazine degradation, soil phosphatase and dehydrogenase activities, and soil microbial community structure**. *Soil Biology & Biochemistry*, V. 41, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.01.009>. Acesso em: novembro de 2022.

IARC. **IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans**, vol. 73. Lyon: IARC, 1999.

JABLONOWSKI, N. D.; SCHÄFFER, A.; BURAUDEL, P. **Still present after all these years: persistence plus potential toxicity raise questions about the use of atrazine**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 18, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0431-y>. Acesso em: setembro de 2022.

JAVARONI, R. C. A.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. **Comportamento dos herbicidas atrazina e alaclor aplicados em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar**. *Artigo Química Nova*, ed. 22, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000100012>. Acesso em: maio de 2022.

KLEINSCHMITT, A. R. B.; DICK, D. P.; SELBACH, P. A.; SANTOS, M. **Dessorção do herbicida atrazina e atividade microbiana em duas classes de solos do Estado do Rio Grande do Sul**. *Ciência Rural*, v. 36, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000600019>. Acesso em: novembro de 2022.

KRUTZ, L. J.; SHANER, D. L.; WEAVER, M. A.; WEBB, R. M. T.; ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N.; HUANG, Y.; THOMSON, S. J. **Agronomic and environmental implications of enhanced s-triazine degradation**. *Pest Management Science*, ed. 66, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.1909>. Acesso em novembro de 2022.

KOLEKAR, P. D.; PHUGARE, S. S.; JADHAV, J. P. **Biodegradation of atrazine by**

Rhodococcus sp. BCH2 to N-isopropylammelide with subsequent assessment of toxicity of biodegraded metabolites. Environmental Science and Pollution Research 21, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2151-6>. Acesso em: setembro de 2022.

KOZLOWSKI, L. A.; KOEHLER, H. S.; PITELLI, R. A. **Épocas e extensões do período de convivência das plantas daninhas interferindo na produtividade da cultura do milho (Zeamays).** Planta Daninha, v. 27, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000300008>. Acesso em: maio de 2022

LASSERRE, J. P.; FACK, F.; REVETS, D.; PLANCHON, S.; RENAUT, J.; HOFFMANN, L. **Effects of the endocrine disruptors Atrazine and PCB 153 on the protein expression of MCF-7 human cells.** Journal of Proteome Research, v. 08, n. 12, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/pr900480f>. Acesso em: setembro de 2022.

LAZZARI, F. M.; SOUZA, A. S. **Revolução verde: Impactos sobre os conhecimentos tradicionais.** Anais do 4º Congresso Internacional de Direito e Contemporaneidade: mídias e direitos da sociedade em rede. 2017. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/congressodireito/anais/2017/4-3.pdf>. Acesso em: novembro de 2022.

Linfoma não Hodgkin. Instituto Nacional de Câncer - INCA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tipos/linfoma-nao-hodgkin>. Acesso em: agosto de 2022.

LONDRES, F. **Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida.** Rio de Janeiro, 2011.

MARIN-MORALES, M. A.; VENTURA-CAMARGO, B. C.; HOSHINA, M. M. **Toxicity of herbicides: Impact on aquatic and soil biota and human health** (Cap. 16). In: PRICE, A. J.; KELTON, J. A. Herbicides – Current Research and case studies in use, 2013.

MANCUSO, M. A.C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. **Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”)**. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 10, 2011. Disponível em: <http://rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/viewFile/106/pdf>. Acesso em: setembro de 2022.

MANKIW, N. G. **Macroeconomia**. 8 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1995.

MATHIAS, S.; MACARTHUR, E. R.; MURRAY, B. C. **Pesticide industry: a profile**. Research triangle institute, 1993. Disponível em: [https://www3.epa.gov/ttnecas1/regdata/IPs/Agricultural%20Chemicals%20\(pesticides\)_IP.pdf](https://www3.epa.gov/ttnecas1/regdata/IPs/Agricultural%20Chemicals%20(pesticides)_IP.pdf). Acesso em: dezembro de 2022.

MODELLI, L.; WELLE, D. **Agrotóxicos banidos na UE e EUA encontram terreno fértil no Brasil**. G1 Globo. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2022/03/04/agrotoxicos-banidos-na-ue-e-eua-encontram-terreno-fertil-no-brasil.ghtml>. Acesso em: fevereiro de 2022.

MOREIRA, R. A.; MANSANO, A. S.; SILVA, L. C.; ROCHA, O. **A comparative study of the acute toxicity of the herbicide atrazine to cladocerans *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia silvestrii* and *Macrothrix flabelligera***. Acta Limnologica Brasiliensia, v. 26, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2014000100002>. Acesso em: dezembro de 2022.

MELO, L. **Brasil usa 500 mil toneladas de agrotóxicos por ano, mas quantidade pode ser reduzida, dizem especialistas**. G1 Globo. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/05/27/brasil-usa-500-mil-toneladas-de-agrotoxicos-por-ano-mas-quantidade-pode-ser-reduzida-dizem-especialistas.ghtml>. Acesso em: fevereiro de 2022.

MOORMAN, T. B.; COWAN, J. K.; ARTHUR, E. L.; COATS, J. R. **Organic amendments to enhance herbicide biodegradation in contaminated soils.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 33, 2001.

NGIGI, A. N.; GETENGA, Z. M.; DÖRFLER, U.; BOGA, H. I.; KURIA, B.; NDALUT, P.; SCHROLL, R. **Effects of carbon amendment on in situ atrazine degradation and total microbial biomass.** *Journal of Environmental Science and Health*, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03601234.2012.716727>. Acesso em: novembro de 2022.

NOGUEIRA, E. N.; DORES, E. F. G. C.; PINTO, A. A.; AMORIM, R. S. S.; RIBEIRO, M. L.; LOURENCETTI C. **Currently used pesticides in water matrices in Central-Western Brazil.** *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532012005000008>. Acesso em: dezembro de 2022.

NOVAIS, S. C.; SOARES, A. M. V. M.; AMORIM, M. J. B. **Can avoidance in *Enchytraeus albidus* be used as a screening parameter for pesticides testing?** *Chemosphere*, v.79, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.01.011>. Acesso em: outubro de 2022.

OLIVEIRA, E. C., CARRARO, N. C. **Análise do comportamento e participação do agronegócio na composição do produto interno bruto (PIB) brasileiro: um estudo da série temporal de 1996 a 2017.** *Brazilian Journal of Development*. v. 5, n.11, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-096>. Acesso em: julho de 2022.

Painel de indicadores. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores>. Acesso em: fevereiro de 2022.

PERES, F.; MOREIRA J. C. **É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente.** Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2003.

Pesquisa inédita investiga como e onde se produzem os alimentos no Brasil. Imaflora, 2022. Disponível em: <https://www.imaflora.org/noticia/pesquisa-inedita-investiga-como-e-onde-se-produzem-os-alimentos-no-brasil>. Acesso em: março de 2022

PIB do Agronegócio Brasileiro. Centro de estudos avançados em economia aplicada (CEPEA-ESALQ/USP) e Confederação da agricultura e pecuária do Brasil (CNA). 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: julho de 2022.

PINHEIRO, A.; SILVA, M. R.; KRAISCH, R. **Presença de pesticidas em águas superficiais e subterrâneas na bacia do Itajaí, SC.** Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 7, 2010. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/76/5600b5161b6d9eabf8b99a621bd33c16_eb0bba188410253222b079565d16fd2e.pdf. Acesso em: novembro de 2022.

PROSEN, H. **Fate and determination of triazine herbicides in soil** (Cap. 3). In: HASANEEN, M. N. A. E. *Herbicides – Properties, Synthesis and Control of Weeds*. Rijeka: Intech, 2012.

RAMAKRISHNAN, B.; MEGHARAJ, M.; VENKATESWARLU, K.; NAIDU, R.; SETHUNATHAN, N. **The impacts of environmental pollutants on microalgae and cyanobacteria.** *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 40, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10643380802471068>. Acesso em: novembro de 2022.

REBELO, R. M.; CALDAS, E. D. **Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos.** *Química Nova* 37, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140165>. Acesso em: outubro de 2022.

RENAULT, T. **Effects of pesticides on marine bivalves: what do we know and what do we need to know?** (Cap. 12). In: STOYTCHIEVA, M. (Ed.) *Pesticides in the modern world - Risks and benefits*. Rijeka: Intech, 2011.

Relatórios de comercialização de agrotóxicos. IBAMA - Instituto Brasileiro de do Meio Ambiente e Recursos, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#:~:text=A%20venda%20total%20de%20produtos,686%2C35%20mil%20toneladas>). Acesso em: janeiro de 2022.

ROHR, J. R.; MCCOY, K. A. **A qualitative meta-analysis reveals consistent effects of atrazine on freshwater fish and amphibians.** Environmental Health Perspectives, v. 118, 2010.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; HALL, L.; BECKIE, H.; WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas - da biologia à aplicação.** Gráfica Editora Berthier, 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355291/12492345/Como+funcionam+os+herbicidas/954b0416-031d-4764-a703-14d9b28b178e?>. Acesso em: fevereiro de 2022.

ROSS, A. J. de; ZAHM, S. H.; CANTOR, K. P.; WIESENBUGER, D. D.; HOLMES, F. F.; BURMEITER, L. F. **Integrative assessment of multiple pesticides as risk factors for non-Hodgkin's lymphoma among men.** Occupational and Environmental Medicine, v. 60, n. 09, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/oem.60.9.e11>. Acesso em: setembro de 2022.

RUSIECKI, J. A.; ROOS, A.; LEE, W. J.; DOSEMECI, M.; LUBIN, J. H.; HOPPIN, J. A.; BLAIR, A.; ALAVANJA, M. C. R. **Cancer incidence among pesticide applicators exposed to atrazine in agricultural health study.** JNCI: Journal of the national cancer institute, v. 96, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jnci/djh264>. Acesso em: setembro de 2022.

SABATINI, M. A.; PEDERZOLI, A.; FRATELLO, B.; BERTOLANI, R. **Microarthropod communities in soil treated with atrazine.** Bolletino di Zoologia 46, 1979.

SANTOS, J. P.; POLINARSKI, C. A. **Ação local efeito global: quem são os agrotóxicos?** 2012. Disponível em:

http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2012/2012_unioeste_cien_artigo_juliana_piana.pdf. Acesso em: julho de 2022.

SEGHERS, D.; VERTHE, K.; REHEUL, D.; BULCKE, R.; SICILIANO, S. D.; VERSTRAETE, W.; TOP, E. M. **Effect of long-term herbicide applications on the bacterial community structure and function in an agricultural soil.** FEMS Microbiology Ecology, v. 46, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(03\)00205-8](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(03)00205-8). Acesso em: novembro de 2022.

SHEETS, T. J. **Persistence of triazine herbicides in soils.** V. 32, 1970.

SELKEN JR., R. L.; BRETZLAFF, R. S.; VALDEZ-FLORES, C. **Probabilistic Risk Assessment Using Atrazine and Simazine as a Model** (Cap. 31). In: LEBARON, H. M.; McFARLAND, J. E.; BURNSIDE, O. C. Amsterdam: Elsevier, 2008.

SIMPKINS, J. W.; SWEMBERG, J. A.; WEISS, N.; BRUSICK, D.; ELDRIDGE, J. C.; STEVENS, J. T. **Atrazine and breast cancer: a framework assessment of the toxicological and epidemiological evidence.** Toxicological Sciences, v. 123, n. 02, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/toxsci/kfr176>. Acesso em: setembro de 2022.

SOLOMON, K. R.; BAKER, D. B.; RICHARDS, R. P.; DIXON, K. R.; KLAINÉ, S. J.; LA POINT, T. W.; KENDALL, R. J.; WEISSKOPF, C. P.; GIDDINGS, J. M.; GIESY, J. P.; HALL JR., L. W.; WILLIAMS, W. M. **Ecological risk assessment of atrazine in North American surface waters.** Environmental Toxicology and Chemistry v. 15, 1996.

SOLOMON, K. R.; COOPER, D. **Probabilistic assessment of laboratory-derived acute toxicity data for the triazine herbicides to aquatic organisms** (Cap. 28). Amsterdam: Elsevier, 2008.

SOUZA, C. S. M.; PETROCELLI, B. M.; FERREIRA, R. C. B.; VIEIRA, E. **O estudo do solo através das minhocas**, 2019. Disponível em: <https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3605>. Acesso em: setembro 2022.

STALEY, Z. R.; ROHR, J. R.; SENKBEIL, J. K.; HARWOOD, V. J. **Agrochemicals indirectly increase survival of E. coli O157:H7 and indicator bacteria by reducing ecosystem services**. *Ecological Applications*, v. 24, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/13-1242.1>. Acesso em: dezembro de 2022.

STEINBERG, C. E. W.; LORENZ, R.; SPIESER, O. H. **Effects of atrazine on swimming behavior of zebrafish, Brachydanio rerio**. *Water Research*, v. 29, 1995.

TODARO, J.; BIGONHA, J.; BORDUCCHI, D. M. M.; MATOS, L. L.; TRUFELLI, D. C.; SALES, S. M. A.; SHIROMA, M. R. D. V.; GIGLIO, A. **Multiple myeloma: five-year experience at a University Hospital**. *Einstein (São Paulo)*, vol. 9, n.2, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1679-45082011ao2006>. Acesso em: setembro de 2022.

TORTELLA, G. R.; MELLA-HERRERA, R. A.; SOUSA, D. Z.; RUBILAR, O.; ACUÑA, J. J.; BRICEÑO, G.; DIEZ, M. C. **Atrazine dissipation and its impact on the microbial communities and community level physiological profiles in a microcosm simulating the biomixture of on-farm biopurification system**. *Journal of Hazardous Materials*, V. 260, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.059>. Acesso em: novembro de 2022.V

VAZ, C. S. **Restaurantes: Controlando custos e aumentando lucros**. Brasília: Editora LGE, 2006.

VENTURA, B. C.; ANGELIS, D. F.; MARIN-MORALES, M. A. **Mutagenic and genotoxic effects of the atrazine herbicide in Oreochromis niloticus (Perciformes, Cichlidae) detected by the micronuclei test and the comet assay**. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 90, 2008.

VIEGAS, C. A.; CHELINHO, S.; MOREIRA-SANTOS, M.; COSTA, C.; GIL, F. N.; SILVA, C.; LIMA, D.; RIBEIRO, R.; SOUSA, J. P. FIALHO, A. M. **Bioremediation of soils contaminated with atrazine and other s-triazine herbicides: current state and prospects** (Cap. 1). In: DANIELS, J. A. (Ed.) *Advances in Environmental Research*. v. 6. New York: Nova Science Publishers, 2012.

VRYZAS, Z.; PAPADAKIS, E. N.; ORIAKLI, K.; MOYSIADIS, T. P.; PAPADOPOULOU-MOURKIDOU, E. **Biotransformation of atrazine and metolachlor within soil profile and changes in microbial communities**. *Chemosphere*, v. 89, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.087>. Acesso em: novembro de 2022.

VONBERG, D.; HOFMANN, D.; VANDERBORGHT, J.; LELICKENS, A.; KÖPPCHEN, S.; PÜTZ, T.; BURAUDEL, P.; VEREECKEN, H. **Atrazine soil core residue analysis from an agricultural field 21 years after its ban**. *Journal of Environmental Quality*, v. 43, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq2013.12.0497>. Acesso em: setembro de 2022.

WANG, Q.; XIE, S. **Isolation and characterization of a high-efficiency soil atrazine-degrading *Arthrobacter* sp. strain**. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 71, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.04.005>. Acesso em: outubro de 2022.

XING, H.; WANG, Z.; WU, H.; ZHAO, X.; LIU, T.; LI, S.; XU, S. **Assessment of pesticide residues and gene expression in common carp exposed to atrazine and chlorpyrifos: health risk assessments**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 113, 2015.

ZILLI, J. E. **Utilização de fungos dark septate como promotores de crescimento vegetal - EMBRAPA**, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/204472/utilizacao-de-fungos--idark-septatei-como-promotores-de-crescimento-vegetal>. Acesso em: novembro de 2022.