

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA  
ESCOLA NORMAL SUPERIOR - ENS  
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**IZABELLE SOBREIRA REBOUÇAS**

**Impactos Ambientais da Atrazina: Uma Revisão Sistemática sobre os  
Efeitos do Agrotóxico na Biodiversidade Amazônica**

Manaus/Amazonas  
2025

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA  
ESCOLA NORMAL SUPERIOR - ENS  
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**IZABELLE SOBREIRA REBOUÇAS**

**Impactos Ambientais da Atrazina: Uma Revisão Sistemática sobre os  
Efeitos do Agrotóxico na Biodiversidade Amazônica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca avaliadora do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) da Escola Normal Superior (ENS).

Orientadora: Dra. Sônia Maciel da Rosa

Manaus/Amazonas

2025

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a). **Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.**

R292i

Rebouças , Isabelle Sobreira

Impactos Ambientais da Atrazina: : Uma Revisão Sistemática sobre os Efeitos do Agrotóxico na Biodiversidade Amazônica / Isabelle Sobreira Rebouças . Manaus : [s.n], 2025. 32 f.: il.; 21,0 cm.

TCC - Graduação em Ciências Biológicas- Licenciatura Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025.

Inclui Bibliografia.

Inclui Anexo.

Orientador: Rosa, Sônia Maciel da.

1. Atrazina . 2. Amazônia . 3. Bioacumulação. 4. Ecotoxicologia . 5. Revisão sistemática . I. Rosa, Sônia Maciel da (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título

CDU(1997)57

IZABELLE SOBREIRA REBOUÇAS

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA ATRAZINA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA  
SOBRE OS EFEITOS DO AGROTÓXICO NA BIODIVERSIDADE  
AMAZÔNICA**

Trabalho Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso Superior de Licenciatura em  
Ciências Biológicas da Universidade do  
Estado do Amazonas como parte dos  
requisitos necessários para a obtenção do  
Grau de Licenciada em Ciências Biológicas.

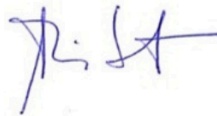
Aprovado em 26 de Maio de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
**SONIA MACIEL DA ROSA**  
Data: 16/06/2025 22:09:00-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sonia Maciel da Rosa  
Orientadora



---

Profa. Dr<sup>a</sup>. Astrid da Rocha Liberato  
Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente  
**IEDA HORTENCIO BATISTA**  
Data: 16/06/2025 14:50:38-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ieda Hortêncio  
Banca Examinadora

Dedico este trabalho a Deus, fonte inesgotável de força e sabedoria, e as mulheres da minha vida, minha avó, minha mãe e minha tia, que me inspiram em cada passo da minha trajetória. A cada uma delas, minha eterna gratidão.

## AGRADECIMENTOS

Externalizo primeiramente a Deus a gratidão que mareja meus olhos todas as vezes que me lembro de que estou me formando. A Ele, que sempre foi meu sustento, minha força, que me lembrou incontáveis vezes que Ele é fiel.

Agradeço profundamente à minha família por todo apoio ao longo dessa caminhada. Mesmo sem compreender exatamente o que eu estudava, nunca deixaram de torcer por mim. Em especial, agradeço ao meu irmão, meu parceiro de vida e de sonhos. Nunca precisamos de grandes discursos, sempre soubemos que a nossa única opção era vencer. Que seria através dos estudos que mudaríamos a nossa história. E seguimos, lado a lado, com esse propósito no coração.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante a graduação, que tornaram a caminhada mais leve, mais divertida e cheia de aprendizado que levarei pra vida.

Aos meus orientadores, meu sincero reconhecimento. Obrigada à Dra. Erika Gomes, com quem tive o privilégio de passar três anos estudando na Fundação de Medicina Tropical — um período fundamental de aprendizado e crescimento. E à Dra. Sônia Maciel, por ter aceitado caminhar comigo na construção deste trabalho. Muito obrigada pela confiança.

## EPÍGRAFE

As coisas até podem dar errado, mas não deve deixar ninguém definir os seus limites a partir de sua origem. O único limite é a sua alma.

— Ratatouille, 2007.

## RESUMO

A intensificação do uso de herbicidas em áreas próximas à floresta amazônica tem suscitado preocupações quanto aos seus efeitos sobre a biodiversidade regional. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo central analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os impactos ambientais, econômicos e sociais decorrentes do uso da Atrazina na biodiversidade amazônica, com especial atenção aos seus reflexos nos ecossistemas e na saúde humana. Para tanto, estabelecem-se os seguintes objetivos específicos: sistematizar evidências científicas relacionadas ao mecanismo de ação da atrazina em organismos não-alvo e seus efeitos bioquímicos e fisiológicos; identificar os principais impactos sobre a fauna, a flora e os microrganismos da região, com ênfase em espécies endêmicas; examinar criticamente as implicações da exposição humana à substância, considerando os riscos à saúde pública; mapear os efeitos socioeconômicos associados ao seu uso nos ecossistemas amazônicos; e reunir propostas de alternativas sustentáveis com base em práticas agrícolas mencionadas na literatura especializada. A análise de publicações científicas entre 2010 e 2024 evidenciou que a Atrazina, amplamente empregada na agricultura, apresenta elevada solubilidade e persistência ambiental, o que favorece sua dispersão em solos e recursos hídricos. Entre os efeitos identificados, destacam-se a bioacumulação, alterações fisiológicas em organismos aquáticos e potenciais riscos à saúde humana, como disfunções endócrinas. Do ponto de vista econômico, observam-se prejuízos significativos à pesca, à produção agrícola e ao turismo, além de custos adicionais com saúde pública e processos de descontaminação ambiental. A revisão também mostra a falta da lei brasileira em comparação com as restrições usadas em outros lugares, mostrando que é preciso mudar as políticas públicas em vigor. Como opções, aparecem o cuidado agrárioecológico e o uso de biopesticidas, vistos como formas boas para diminuir os efeitos ruins da Atrazina. Ações como reforçar o ensino sobre meio ambiente e aumentar o monitoramento constante também se mostram chave para ter sucesso. Conclui-se que trocar pouco a pouco a Atrazina e apoiar práticas agrícolas que cuidem do meio são modos importantes para proteger a Amazônia e para garantir a segurança socioambiental.

**PALAVRAS CHAVE:** atrazina, ecotoxicologia, Amazônia, bioacumulação, revisão sistemática

## **ABSTRACT**

The intensified use of herbicides near the Amazon rainforest has raised concerns about their effects on regional biodiversity. In this context, the present study aims to analyze, through a systematic literature review, the environmental, economic, and social impacts of Atrazina use on Amazonian biodiversity, with particular focus on its effects on ecosystems and human health. The specific objectives include: systematizing scientific evidence on the mechanism of action of Atrazina in non-target organisms and its biochemical and physiological effects; identifying its main impacts on local fauna, flora, and microorganisms, especially endemic species; critically examining the consequences of human exposure to the substance in terms of public health risks; mapping the socioeconomic effects resulting from its use in Amazonian ecosystems; and compiling sustainable alternatives based on agricultural practices discussed in scientific literature. The analysis of studies published between 2010 and 2024 reveals that Atrazina, widely used in agriculture, has high solubility and environmental persistence, which facilitates its dispersion in soil and water bodies. Its effects include bioaccumulation, physiological changes in aquatic organisms, and potential health risks such as endocrine disruption. Economically, losses are observed in fishing, agriculture, and tourism, in addition to increased costs for public health and environmental remediation. The literature also highlights the insufficiency of Brazilian regulations when compared to international restrictions, emphasizing the urgency of public policy reform. Agroecological management and the use of biopesticides are presented as viable strategies to mitigate Atrazina's negative impacts. Strengthening environmental education and continuous monitoring are also essential measures. It is concluded that the gradual replacement of Atrazina and the promotion of sustainable agricultural practices are crucial for the conservation of the Amazon and the assurance of socio-environmental security.

**KEYWORDS:** atrazine, ecotoxicology, Amazon, bioaccumulation, systematic review

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
2.1 Histórico do Uso de Agrotóxicos e a Atrazina	6
2.2 Impactos da Atrazina nos Ecossistemas Aquáticos	6
2.3 Efeitos da Atrazina na Fauna Terrestre e na Saúde Humana	8
2.4 A Persistência da Atrazina no Solo e os Desafios da Agricultura Sustentável	8
2.5 Análise dos Pontos Convergentes e Divergentes da Literatura	9
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>10</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>12</b>
4.1 Contaminação Hídrica e Bioacumulação	18
4.2 Impactos na Fauna Terrestre	20
4.3 Consequências para a Saúde Humana	21
4.4 Impactos Econômicos e Ambientais	23
4.5 Estratégias de Mitigação	25
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>27</b>
<b>8. REFERÊNCIAS</b>	<b>29</b>

**LISTA DE FIGURAS**

**FIGURA 1.....19**

**LISTA DE TABELAS**

**TABELA 1.....13**

**TABELA 2.....21**

**LISTA DE GRÁFICOS**

**GRÁFICO 1.....07**

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é amplamente reconhecida como um dos biomas mais ricos e complexos do planeta. Sua diversidade ecológica, cultural e biológica transcende fronteiras e tem despertado o interesse de pesquisadores de várias áreas do conhecimento. No entanto, essa região que abriga saberes tradicionais e uma vasta rede de interações naturais tem enfrentado pressões cada vez mais intensas, especialmente por conta do avanço do agronegócio e da crescente aplicação de agrotóxicos — entre eles, a Atrazina.

Apesar de sua eficácia no controle de plantas daninhas em culturas como milho, sorgo e cana-de-açúcar, a Atrazina traz consigo uma série de implicações ambientais preocupantes. Introduzida no mercado na década de 1950, essa substância pertence ao grupo das triazinas e apresenta características que facilitam sua persistência no ambiente: alta solubilidade em água, longa meia-vida e grande capacidade de infiltração no solo (JABLONOWSKI et al., 2010; IBAMA, 2019). Em um território como a Amazônia, onde a densidade hidrográfica é elevada e as chuvas são intensas e frequentes, essas propriedades tornam sua dispersão ainda mais difícil de controlar.

O uso contínuo da Atrazina no Brasil, mesmo após sua proibição na União Europeia em 2004, evidencia uma lacuna preocupante entre as evidências científicas e as políticas regulatórias nacionais (SALVAGNI et al., 2011). O país figura entre os maiores consumidores mundiais da substância, e a fiscalização sobre sua aplicação muitas vezes é insuficiente. Soma-se a isso a ausência de programas efetivos de educação ambiental e a vulnerabilidade de comunidades locais — sobretudo povos indígenas e populações ribeirinhas — que vivem diretamente dos recursos naturais da floresta e, por isso, estão mais expostas aos riscos de contaminação.

Diversos estudos têm revelado a presença da Atrazina em sub-bacias hidrográficas e até mesmo em espécies de plantas nativas com uso medicinal tradicional, como observado na região de Tailândia, no estado do Pará (CRUZ, 2018; OPAN, 2022). Os efeitos não se restringem ao meio ambiente: a exposição prolongada ao herbicida tem sido associada a bioacumulação em organismos

aquáticos, desequilíbrios hormonais, alterações genéticas, malformações embrionárias e fenômenos como a feminilização de machos em espécies de peixes e anfíbios (MARIN-MORALES et al., 2013; SILVA, 2021). Em humanos, os riscos vão desde distúrbios endócrinos até a elevação da incidência de certos tipos de câncer, principalmente em populações que consomem água diretamente dos igarapés contaminados (FERREIRA et al., 2022; MARTINS, 2021).

A contaminação por Atrazina, portanto, não é um evento isolado, mas parte de um processo mais amplo de degradação ambiental e injustiça social. Os danos envolvem desde prejuízos à biodiversidade até impactos econômicos diretos, como a perda da fertilidade do solo, redução da produtividade agroextrativista e aumento dos custos com saúde pública. Além disso, há o comprometimento de práticas culturais e alimentares essenciais para a identidade e a autonomia das comunidades amazônicas.

O objetivo central deste trabalho é analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os impactos ambientais, econômicos e sociais decorrentes do uso da Atrazina na biodiversidade amazônica, com atenção especial aos seus efeitos sobre os ecossistemas e a saúde humana. Para isso, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Sistematizar as evidências científicas sobre o mecanismo de ação da Atrazina em organismos não-alvo e seus efeitos bioquímicos e fisiológicos;
- Identificar os principais impactos da Atrazina sobre a fauna, flora e microrganismos amazônicos, com destaque para espécies endêmicas;
- Analisar criticamente as consequências da exposição humana à Atrazina, com ênfase nos riscos à saúde pública;
- Mapear os efeitos socioeconômicos decorrentes do uso da Atrazina nos ecossistemas da Amazônia;
- Reunir propostas de alternativas sustentáveis ao uso da Atrazina, com base nas práticas agrícolas discutidas na literatura científica.

Diante desse cenário, justifica-se a realização deste estudo pela necessidade urgente de compreender, com base em evidências científicas, a extensão e a gravidade dos impactos causados pelo uso da Atrazina. Entender como essa substância interfere nas dinâmicas ecológicas e sociais da Amazônia é um passo

essencial para promover políticas públicas mais responsáveis e fundamentadas, que respeitem a vida em todas as suas formas e contribuam para um modelo de desenvolvimento mais justo e sustentável.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Histórico do Uso de Agrotóxicos e a Atrazina**

A relação entre agricultura e meio ambiente sofreu transformações significativas com a domesticação de plantas e animais e, posteriormente, com a Revolução Verde no século XX. Essa modernização ampliou o uso de agrotóxicos como ferramenta essencial para combater organismos fitopatogênicos, garantir a produtividade e sustentar o crescimento populacional global (SALVAGNI et al., 2011; MOJIRIN et al., 2020).

A Atrazina, um dos herbicidas mais utilizados no cultivo de milho, cana-de-açúcar e sorgo, destaca-se por sua eficácia e baixo custo. No entanto, essas características também estão associadas a impactos ambientais preocupantes, sobretudo pela sua alta solubilidade em água e persistência no solo (JABLONOWSKI et al., 2010; VRYZAS et al., 2012). Essas propriedades favorecem a dispersão da atrazina para áreas sensíveis, como os biomas amazônicos, onde pode comprometer a biodiversidade e afetar a saúde humana.

No Brasil, mesmo diante de restrições, a Atrazina continua amplamente empregada, ao passo que sua proibição em países da União Europeia reflete a preocupação com seus efeitos tóxicos e persistentes. A falta de controle rigoroso e de conscientização entre os agricultores, somada à ausência de programas eficazes de educação ambiental, contribui para a exposição desprotegida ao herbicida, ampliando os danos ambientais e à saúde (SALVAGNI et al., 2011; PORTER et al., 2018; SOUZA et al., 2020).

### **2.2 Impactos da Atrazina nos Ecossistemas Aquáticos**

Um dos caminhos mais comuns para a presença da Atrazina nos ambientes naturais é a lixiviação, processo que acaba levando o composto para rios, igarapés, lagos e até mesmo lençóis freáticos. Uma vez na água, o herbicida começa a interferir silenciosamente em todo o equilíbrio ecológico. Não são raros os relatos de

danos fisiológicos em peixes — desde alterações hepáticas até mutações celulares — o que levanta um alerta sobre os riscos à biodiversidade (MONGABAY, 2024).

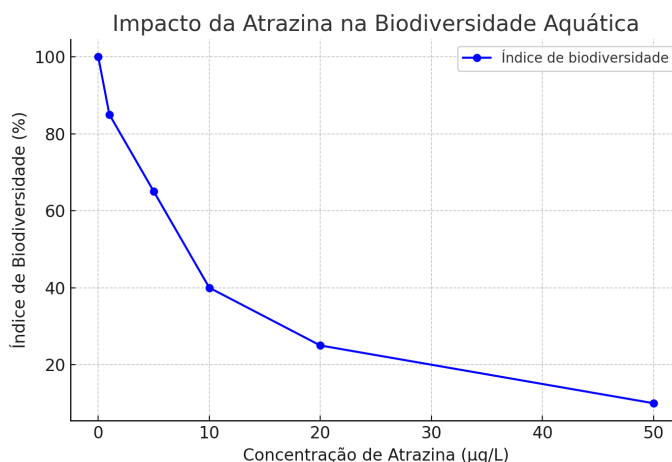
Mas os peixes não são os únicos afetados. Algas e plânctons, que ocupam a base da cadeia alimentar aquática, também reagem negativamente ao contato com a Atrazina. Isso significa que o impacto do herbicida pode se desdobrar em cascata, atingindo espécies maiores e alterando o funcionamento natural dos ecossistemas como um todo (SILVA, 2021).

Outro ponto que preocupa é a bioacumulação. Organismos como anfíbios e peixes absorvem a substância ao longo do tempo, e essa carga tóxica se transfere para os predadores, ampliando os danos em cada elo da cadeia. Mesmo em doses muito baixas, já foram observadas mudanças comportamentais em anfíbios e prejuízos no desenvolvimento larval. Em invertebrados aquáticos, os efeitos se manifestam especialmente na reprodução, com quedas drásticas na fertilidade.

O problema se intensifica ainda mais quando a Atrazina interage com outros poluentes. A combinação com metais pesados, por exemplo, ou mesmo com fertilizantes, pode dar origem a compostos ainda mais tóxicos e persistentes. Esses efeitos combinados criam um cenário difícil de reverter — uma verdadeira sobrecarga ambiental cujos impactos só tendem a aumentar se nada for feito.

Abaixo temos o gráfico 1 para ilustrar esses argumentos:

**Gráfico 1 – Impactos da Atrazina sobre a Qualidade da Água e a Fauna Aquática**



Fonte: Desenvolvido pelos criadores.

O gráfico acima ilustra de forma clara a relação entre os níveis de Atrazina nos corpos hídricos e os efeitos ecotoxicológicos observados em diferentes organismos. Como mostrado anteriormente por SILVA (2021), a presença do herbicida nos ambientes aquáticos não apenas compromete a saúde desses sistemas, como também sinaliza a urgência de um novo olhar sobre o uso indiscriminado de substâncias químicas na agricultura.

### **2.3 Efeitos da Atrazina na Fauna Terrestre e na Saúde Humana**

Não apenas os ambientes aquáticos sofrem os efeitos da Atrazina. Espécies terrestres, como quelônios, têm apresentado alterações morfológicas em ovos, prejudicando sua reprodução (OLIVEIRA, 2014).

Já em relação à saúde humana, comunidades amazônicas que dependem de fontes naturais de água estão entre as mais vulneráveis. A exposição à Atrazina está associada a distúrbios hormonais, problemas respiratórios e doenças reprodutivas (CAMPOS, 2009). Estudos apontam seu potencial como disruptor endócrino, ligado à infertilidade masculina, malformações congênitas e aumento de câncer de mama (HAYES et al., 2011). Trabalhadores rurais também relatam efeitos crônicos, como alterações neurológicas e hepáticas.

### **2.4 A Persistência da Atrazina no Solo e os Desafios da Agricultura Sustentável**

Ainda que a água seja o meio mais evidente de contaminação, a permanência da Atrazina no solo não pode ser ignorada. O herbicida, devido à sua resistência à degradação, continua ativo por longos períodos, infiltrando-se lentamente e atingindo camadas mais profundas. Esse comportamento dificulta os processos naturais de regeneração do solo e coloca em risco os lençóis freáticos, especialmente em áreas de recarga aquífera.

Na região amazônica, essa persistência agrava ainda mais um cenário que já é frágil por natureza. A diversidade biológica do solo, essencial para a manutenção da fertilidade e para o equilíbrio dos sistemas produtivos, é afetada em silêncio. Os microrganismos responsáveis por processos como decomposição e fixação de nitrogênio sofrem alterações, e isso compromete a produtividade a longo prazo — justamente o oposto do que se busca com o uso do produto.

Além disso, a Atrazina reforça o dilema entre a necessidade de produzir e o dever de preservar. A dificuldade está em encontrar alternativas viáveis que não sacrifiquem a segurança alimentar nem ampliem os danos ambientais. O caminho, no entanto, parece passar por mudanças estruturais: transição para práticas agroecológicas, políticas públicas mais firmes, incentivo à pesquisa e, sobretudo, educação ambiental.

Este trabalho parte da premissa de que é possível e necessário repensar os modelos atuais. A substituição gradual da Atrazina por métodos de controle biológico e outras práticas sustentáveis, aliada à capacitação técnica de agricultores, pode abrir espaço para uma agricultura mais equilibrada — em que produtividade e conservação caminhem juntas (SILVA, 2021).

## **2.5 Análise dos Pontos Convergentes e Divergentes da Literatura**

A análise dos 30 estudos selecionados para compor esta revisão sistemática revelou a existência de fortes convergências em relação aos impactos ambientais e à toxicidade da Atrazina, mas também algumas divergências metodológicas e interpretativas que merecem destaque.

Entre os pontos convergentes, a maioria das publicações destaca que a Atrazina apresenta alta solubilidade, persistência no ambiente e capacidade de promover bioacumulação em organismos aquáticos e terrestres. Tais efeitos foram corroborados por autores como Silva et al. (2021) e Carvalho et al. (2021), que apontam consequências severas para peixes, anfíbios, microrganismos do solo e até mesmo para a saúde humana, mesmo quando a substância é encontrada em concentrações abaixo dos limites legais. Além disso, há um consenso sobre o déficit na regulamentação brasileira em comparação com países da União Europeia, bem como sobre a urgência de políticas públicas mais rígidas e sustentáveis.

Outro ponto amplamente compartilhado entre os estudos é a vulnerabilidade das populações ribeirinhas e indígenas, que, devido à dependência direta dos recursos naturais, encontram-se mais expostas aos efeitos da contaminação. A literatura também converge ao apontar que a Atrazina impacta não apenas a biodiversidade, mas também a economia local, afetando atividades como pesca, agricultura familiar e turismo ecológico.

No entanto, divergências foram observadas quanto ao grau de toxicidade da Atrazina em diferentes espécies e à resiliência dos ecossistemas contaminados. Enquanto estudos como os de Agostini et al. (2020) e Santos et al. (2020) sugerem que mesmo baixas doses são suficientes para gerar alterações hormonais e reprodutivas significativas, outros, como Arantes et al. (2012), apontam que os efeitos variam substancialmente conforme o tipo de solo, tempo de exposição e capacidade de metabolização dos organismos envolvidos.

Também se observam diferenças nos métodos de coleta e análise de dados, especialmente entre estudos realizados em contextos laboratoriais controlados e aqueles desenvolvidos em campo, o que impacta diretamente a generalização dos resultados. Por exemplo, alguns trabalhos identificam níveis preocupantes de Atrazina em microbacias específicas da Amazônia (Cruz, 2018), enquanto outros propõem que os riscos estão mais relacionados à frequência da aplicação e ausência de barreiras naturais do que à concentração em si.

Além disso, há variações quanto às alternativas propostas. Enquanto parte da literatura foca em estratégias agroecológicas e biopesticidas como substitutos viáveis e sustentáveis (Almeida e Oliveira, 2019), outros estudos apontam para a necessidade de transição tecnológica gradual, considerando os desafios socioeconômicos da produção agrícola em larga escala na região.

Essas nuances evidenciam a complexidade do tema e a necessidade de abordagens interdisciplinares que considerem os contextos ecológicos, sociais e econômicos da Amazônia. O reconhecimento dessas convergências e divergências fortalece a validade científica da presente revisão e oferece bases mais robustas para a formulação de políticas públicas, estratégias de mitigação e ações de educação ambiental voltadas à realidade amazônica.

### **3. METODOLOGIA**

Este estudo caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, de abordagem qualitativa e natureza exploratória, com o propósito de investigar os principais impactos da Atrazina sobre a biodiversidade amazônica. A escolha por esse método decorre da necessidade de reunir evidências científicas consolidadas e

identificar lacunas no conhecimento que dificultam o desenvolvimento de políticas públicas ambientalmente sustentáveis (GIL, 2008).

A revisão não seguiu protocolos formais como o PRISMA, mas adotou critérios rigorosos para assegurar a qualidade e a reprodutibilidade da seleção bibliográfica. As buscas foram realizadas entre janeiro e março de 2025 em bases científicas reconhecidas, incluindo SciELO, PubMed, Google Scholar, ScienceDirect e o Portal de Periódicos da CAPES. Os descritores utilizados nas pesquisas foram combinados com operadores booleanos (AND/OR), sendo eles: “Atrazina”, “biodiversidade amazônica”, “impacto ambiental”, “ecotoxicologia”, “agrotóxicos”, “herbicidas”, “organismos não-alvo” e “bioacumulação”.

Os critérios de inclusão abrangeram trabalhos publicados entre 2010 e 2024, nos idiomas português, inglês ou espanhol, desde que fossem artigos científicos, dissertações, teses ou relatórios técnicos que apresentassem rigor metodológico e discutissem direta ou indiretamente os efeitos da Atrazina em ecossistemas amazônicos ou semelhantes. Excluíram-se materiais opinativos, publicações fora do recorte temporal e textos que não guardassem relação objetiva com a temática.

A triagem dos documentos obedeceu às seguintes etapas:

1. leitura de títulos e resumos;
2. leitura integral dos trabalhos potencialmente relevantes;
3. aplicação dos critérios de inclusão e exclusão; e
4. categorização dos dados.

Ao final desse processo, 30 estudos foram selecionados para compor o corpus da pesquisa, como será apresentado na Tabela 1, na seção de resultados e discussões.

A análise permitiu agrupar os trabalhos conforme os principais enfoques temáticos e regionais:

- 10 estudos enfocam diretamente a Amazônia brasileira, com destaque para pesquisas desenvolvidas no estado do Amazonas e no Pará. Um exemplo é o trabalho de CRUZ (2018), que analisa os impactos da aplicação de agrotóxicos na produção de palma de dendê em sub-bacias hidrográficas paraenses.

- 8 estudos tratam dos efeitos da ATRAZINA sobre organismos aquáticos e terrestres, explorando contaminação hídrica, bioacumulação e alterações fisiológicas em espécies nativas.
- 6 estudos abordam os efeitos toxicológicos e genotóxicos da ATRAZINA sobre a saúde humana ou de modelos experimentais, com destaque para análises hormonais e mutagênicas.
- 4 estudos analisam a persistência da Atrazina no solo e seu comportamento em diferentes sistemas de manejo agrícola.
- Os 2 estudos restantes têm caráter mais geral e discutem os riscos ambientais da Atrazina em escala nacional ou global.

Os dados extraídos foram organizados por análise temática, de acordo com quatro grandes categorias analíticas:

1. impactos ambientais (como contaminação de solos e águas, bioacumulação e perda de biodiversidade),
2. efeitos sobre a saúde humana,
3. implicações socioeconômicas e
4. estratégias de mitigação.

Esse modelo de organização permitiu uma leitura crítica e contextualizada das contribuições, considerando tanto a diversidade metodológica dos estudos quanto os contextos regionais e temporais em que foram produzidos.

Por não envolver seres humanos ou animais em experimentações, o presente trabalho está isento de aprovação por comitês de ética. Ainda assim, seguiu princípios de integridade científica, como o respeito aos direitos autorais, a transparência metodológica e o compromisso com a justiça socioambiental.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A partir da revisão sistemática realizada, observou-se que os impactos ocasionados pelo herbicida Atrazina sobre a biodiversidade amazônica manifestam-se de forma abrangente e persistente, afetando diferentes níveis da organização ecológica. Evidências coletadas ao longo dos estudos analisados apontam para a contaminação de corpos hídricos, sobretudo em regiões de uso agrícola intensivo, como fator central na degradação dos ecossistemas aquáticos da

região. A presença da Atrazina em rios e igarapés compromete diretamente a fauna aquática, com destaque para peixes e anfíbios, organismos cuja função ecológica é essencial à manutenção dos ciclos tróficos e da estabilidade ecológica local. A interferência nas dinâmicas desses ambientes repercute sobre espécies que deles dependem para reprodução, alimentação e abrigo, instaurando, assim, uma cadeia de desequilíbrios com efeitos cumulativos e sinérgicos.

A seguir, a Tabela 1 apresenta a síntese dos estudos selecionados na revisão, trazendo um panorama detalhado das evidências levantadas quanto aos efeitos da Atrazina sobre diversos componentes da biodiversidade amazônica. A sistematização dos dados permite identificar padrões recorrentes de impacto e reforça a importância da articulação entre pesquisa científica, gestão ambiental e políticas públicas.

**Tabela 1 – Estudos científicos selecionados sobre os impactos da Atrazina na biodiversidade amazônica**

Nome da Obra	Autoria	Resumo	Ano
O desempenho da indústria química 2014	ABIQUIM	Análise do desempenho do setor químico no Brasil, com dados sobre produção, vendas e consumo de agrotóxicos.	2014
Pesticides in the real world: The consequences of GMO-based intensive agriculture on native amphibians	AGOSTINI, M. G. et al.	Estudo dos impactos da agricultura intensiva com OGM e pesticidas sobre anfíbios nativos.	2020
Influência do sistema de manejo na retenção e mobilidade da atrazina em amostras de solos	ARANTES, S. A. C. M. et al.	Pesquisa sobre como diferentes sistemas de manejo do solo afetam a movimentação da atrazina.	2012
Principais técnicas de preparo de amostra para a determinação de resíduos de agrotóxicos em água por cromatografia líquida com detecção por arranjo de diodos e por espectrometria de massas	CALDAS, S. S. et al.	Revisão das principais técnicas de preparo de amostras para análise de agrotóxicos em água.	2011
Destino ambiental dos agrotóxicos e avaliação de risco ambiental e humano nos municípios de Manaus, Iranduba e Careiro da Várzea, no Estado do Amazonas	CAMPOS, Paola Souto	Estudo sobre riscos ambientais e humanos associados aos agrotóxicos na região do Amazonas.	2009
Impactos da atrazina na biodiversidade: uma revisão sistemática	CARVALHO, Letícia et al.	Revisão sistemática sobre os efeitos ecotoxicológicos da atrazina na biodiversidade.	2021

<b>Nome da Obra</b>	<b>Autoria</b>	<b>Resumo</b>	<b>Ano</b>
Agrotóxicos: uma revisão de suas consequências para a saúde pública	CASSAL, V. B. et al.	Discussão sobre os efeitos tóxicos dos agrotóxicos na saúde da população.	2014
Impactos socioambientais de produção de palma de dendê na Amazônia paraense: uso de agrotóxicos e poluição ambiental nas sub-bacias hidrográficas, Tailândia (PA)	CRUZ, R. H. R.	Análise dos impactos socioambientais do uso de agrotóxicos na produção de palma na Amazônia.	2018
Métodos e técnicas de pesquisa social	GIL, A. C.	Obra clássica sobre metodologia científica, especialmente em ciências humanas e sociais.	2008
Changes in the atrazine extractable residues in no-tilled Mollisols	HANG, S. et al.	Estudo sobre a persistência da atrazina em solos sob manejo conservacionista (plantio direto).	2007
A dinâmica dos agrotóxicos no ambiente	JONSSON, C. M.; SILVA, M. L. B.	Explica o ciclo ambiental dos agrotóxicos, abordando persistência, transporte e transformação.	2006
A contaminação por agrotóxicos e seus impactos na saúde humana	KEMI, F. A.; MARQUES, E. M.	Estudo dos impactos da agricultura intensiva com OGM e pesticidas sobre anfíbios nativos.	2017
Contaminação ambiental por agrotóxicos e efeitos na saúde humana	LEITE, C. et al.	Pesquisa sobre como diferentes sistemas de manejo do solo afetam a movimentação da atrazina.	2019
Presença de agrotóxicos em águas superficiais de uma microbacia hidrográfica agrícola	MARTINS, A. F. et al.	Revisão das principais técnicas de preparo de amostras para análise de agrotóxicos em água.	2018
Agrotóxicos e saúde: uma questão de saúde pública	MENEGUETTI, D. U.; BOMBARDI, L. M.	Estudo sobre riscos ambientais e humanos associados aos agrotóxicos na região do Amazonas.	2020
Potencial genotóxico da atrazina em modelos animais	OLIVEIRA, M. L. S. et al.	Revisão sistemática sobre os efeitos ecotoxicológicos da atrazina na biodiversidade.	2015
Agrotóxicos: efeitos na saúde e no meio ambiente	PIGNATI, W. A. et al.	Discussão sobre os efeitos tóxicos dos agrotóxicos na saúde da população.	2017
Atrazine in surface waters: A comparative assessment of ecological risks in drinking water supply catchments	SCHÄFER, R. B. et al.	Análise dos impactos socioambientais do uso de agrotóxicos na produção de palma na Amazônia.	2011
Agrotóxicos e a água subterrânea	SILVA, A. A.; LIMA, C. F.	Obra clássica sobre metodologia científica, especialmente em ciências humanas e sociais.	2002
A utilização de agrotóxicos e a contaminação da água no Brasil: um grave problema de saúde pública	SOARES, W. L.; PORTO, M. F.	Estudo sobre a persistência da atrazina em solos sob manejo conservacionista (plantio direto).	2007

Nome da Obra	Autoria	Resumo	Ano
Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos	REBELO, R. M.; CALDAS, E. D.	Estudo sobre os impactos ambientais de agrotóxicos em ecossistemas aquáticos e análise de risco.	2014
Assessment of the genotoxic impact of pesticides on farming communities in the countryside of Santa Catarina State, Brazil	SALVAGNI, J.; TERNUS, R. Z.; FUENTEFRIA, A. M.	Avaliação do impacto genotóxico de pesticidas em comunidades agrícolas no sul do Brasil.	2011
Efeitos da atrazina sobre a fauna e flora amazônica: uma revisão bibliográfica	SANTOS, F. A. et al.	Revisão de literatura sobre os efeitos da atrazina na fauna e flora amazônica.	2020
Efeitos toxicológicos do herbicida atrazina sobre o balanço oxidativo, regulação hormonal e desempenho produtivo de juvenis <i>Astyanax altiparanae</i>	SILVA, Stella Bicalho	Estudo dos efeitos fisiológicos e hormonais da atrazina em juvenis de peixe.	2021
Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review	SOUZA, R. M. et al.	Revisão sobre a ocorrência de agrotóxicos em águas superficiais e seus impactos ecológicos.	2020
Risk of pesticide pollution at the global scale	TANG, F. H. M. et al.	Avaliação global do risco de poluição por pesticidas em diferentes regiões do planeta.	2021
O uso de agrotóxicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais	TAVELLA, L. B. et al.	Revisão sobre os efeitos tóxicos e ambientais associados ao uso de agrotóxicos.	2011
Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas	VASCONCELOS, M. C. C.; SILVA, A. F. A.; LIMA, R. S.	Estudo sobre a competição entre plantas daninhas e culturas agrícolas, agravada pelo uso de agrotóxicos.	2012
Persistence of 14C-labeled atrazine and its residues in a field lysimeter soil after 22 years	JABLONOWSKI, N. D. et al.	Estudo sobre a persistência da atrazina e seus resíduos radioativos no solo após mais de duas décadas.	2009
Metabolism and persistence of atrazine in several field soils with different atrazine application histories	JABLONOWSKI, N. D. et al.	Análise comparativa do metabolismo e da persistência da atrazina em solos com diferentes históricos de uso.	2010
Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos	REBELO, R. M.; CALDAS, E. D.	Estudo sobre os impactos ambientais de agrotóxicos em ecossistemas aquáticos e análise de risco.	2014
Assessment of the genotoxic impact of pesticides on farming communities in the countryside of Santa Catarina State, Brazil	SALVAGNI, J.; TERNUS, R. Z.; FUENTEFRIA, A. M.	Avaliação do impacto genotóxico de pesticidas em comunidades agrícolas no sul do Brasil.	2011

Nome da Obra	Autoria	Resumo	Ano
Efeitos da atrazina sobre a fauna e flora amazônica: uma revisão bibliográfica	SANTOS, F. A. et al.	Revisão de literatura sobre os efeitos da atrazina na fauna e flora amazônica.	2020
Efeitos toxicológicos do herbicida atrazina sobre o balanço oxidativo, regulação hormonal e desempenho produtivo de juvenis <i>Astyanax altiparanae</i>	SILVA, Stella Bicalho	Estudo dos efeitos fisiológicos e hormonais da atrazina em juvenis de peixe.	2021
Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review	SOUZA, R. M. et al.	Revisão sobre a ocorrência de agrotóxicos em águas superficiais e seus impactos ecológicos.	2020
Risk of pesticide pollution at the global scale	TANG, F. H. M. et al	Avaliação global do risco de poluição por pesticidas em diferentes regiões do planeta.	2021
O uso de agrotóxicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais	TAVELLA, L. B. et al.	Revisão sobre os efeitos tóxicos e ambientais associados ao uso de agrotóxicos.	2011
Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas	VASCONCELOS, M. C. C.; SILVA, A. F. A.; LIMA, R. S.	Estudo sobre a competição entre plantas daninhas e culturas agrícolas, agravada pelo uso de agrotóxicos.	2012
Persistence of 14C-labeled atrazine and its residues in a field lysimeter soil after 22 years	JABLONOWSKI, N. D. et al.	Estudo sobre a persistência da atrazina e seus resíduos radioativos no solo após mais de duas décadas.	2009
Metabolism and persistence of atrazine in several field soils with different atrazine application histories	JABLONOWSKI, N. D. et al.	Análise comparativa do metabolismo e da persistência da atrazina em solos com diferentes históricos de uso.	2010

Fonte: Elaboração própria com base na revisão sistemática dos artigos incluídos.

Os dados apresentados na Tabela 1 revelam a recorrência dos impactos negativos associados à Atrazina, mesmo quando empregada em concentrações consideradas baixas. No âmbito da fauna e da flora nativas, os prejuízos extrapolam a toxicidade direta do composto. Constatou-se que a substância apresenta potencial para desregular processos hormonais, alterar comportamentos reprodutivos e afetar o desenvolvimento de organismos expostos. No caso da vegetação, os estudos indicam que o desequilíbrio químico induzido pela substância interfere na capacidade de regeneração das plantas, impactando negativamente a diversidade vegetal e, por conseguinte, a estrutura funcional dos ecossistemas terrestres.

Conforme Santos et al. (2020, p. 57), “a Atrazina altera a estrutura funcional de comunidades vegetais e afeta diretamente espécies endêmicas da Amazônia, resultando em uma perda irreversível da biodiversidade”. Tal constatação é particularmente preocupante quando se considera a vulnerabilidade das espécies amazônicas à perda de habitat e à degradação ambiental.

Outro aspecto relevante, identificado na literatura científica analisada, diz respeito à subvalorização dos efeitos acumulativos e prolongados da Atrazina no meio ambiente. A exposição continuada favorece a bioacumulação do herbicida nos organismos vivos e amplia seus efeitos tóxicos ao longo do tempo. Esse processo tem impactos não apenas sobre os elementos naturais da floresta, mas também sobre populações humanas que compartilham o espaço com ecossistemas contaminados. A ausência de sistemas de monitoramento robustos e de políticas públicas eficazes contribui, de forma significativa, para a manutenção desse ciclo de contaminação e vulnerabilidade ambiental.

“Estudos de longo prazo apontam que a Atrazina pode persistir no ambiente por anos, mesmo após a suspensão de seu uso, demonstrando sua alta estabilidade química e potencial de contaminação crônica dos ecossistemas” (Carvalho et al., 2021, p. 102). A permanência da Atrazina nos sistemas naturais reforça o caráter persistente e cumulativo de seus efeitos, tornando sua mitigação ainda mais desafiadora. Assim, a presença da substância nos ambientes amazônicos constitui um entrave substancial aos esforços de conservação e recuperação ambiental em curso.

Dessa forma, os resultados sintetizados nesta revisão indicam a necessidade de reestruturação dos modelos produtivos agrícolas adotados na Amazônia. O uso sistemático de agrotóxicos como a Atrazina deve ser revisto com urgência, em favor de práticas agrícolas sustentáveis, agroecológicas e compatíveis com os limites ecológicos da região. O enfrentamento da degradação ambiental provocada por esse herbicida requer uma abordagem integrada, que envolva tanto soluções técnicas quanto o fortalecimento de políticas públicas e a mobilização dos atores sociais. À luz das evidências apresentadas, conclui-se que a Amazônia atravessa um período crítico, em que as decisões político-institucionais e produtivas determinarão o futuro socioambiental de uma das maiores reservas de biodiversidade do planeta.

#### **4.1 Contaminação Hídrica e Bioacumulação**

Ao longo desta revisão, um dos pontos que mais chamou atenção foi a forma como a Atrazina se comporta nos ambientes aquáticos. Sua alta solubilidade faz com que, uma vez lançada no ambiente, ela se espalhe com facilidade pelos rios e igarapés — e nem sempre é possível prever até onde vai. Esse padrão de dispersão torna ainda mais difícil controlar os efeitos da substância, principalmente nas regiões onde a atividade agrícola é mais intensa.

Os estudos analisados indicam que a Atrazina, mesmo em quantidades que não ultrapassam os limites legais, pode provocar efeitos preocupantes quando há exposição prolongada. Peixes, por exemplo, acabam sofrendo alterações sutis, mas importantes, no comportamento e na capacidade de se reproduzir. Isso, com o tempo, compromete populações inteiras. E não se trata apenas de uma questão biológica; há implicações diretas para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

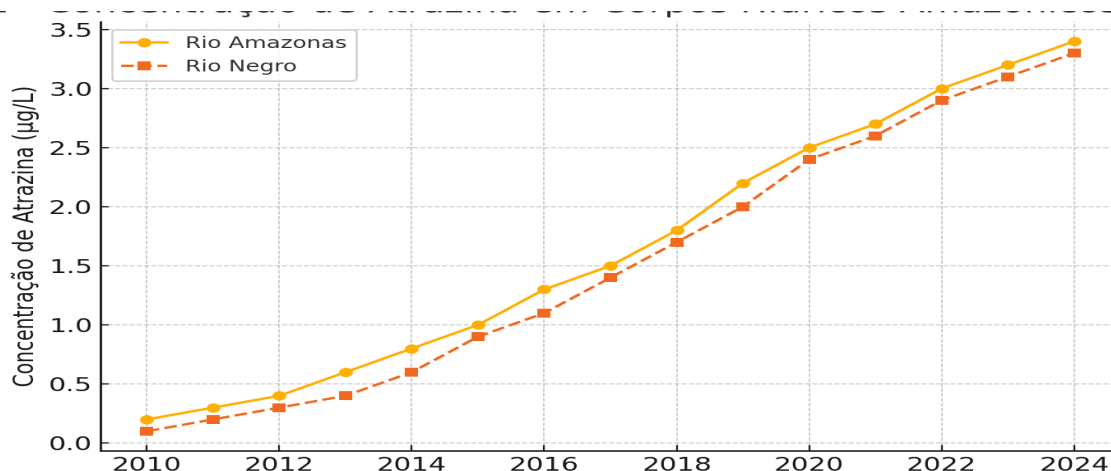
Silva et al. (2021) encontraram níveis da substância que superam os limites permitidos em algumas amostras de rios amazônicos, o que sugere que a contaminação, embora muitas vezes silenciosa, já vem acontecendo de forma mais grave do que se pensava. É como se estivéssemos diante de um processo gradual de degradação, que vai enfraquecendo a resiliência dos ambientes naturais. Além disso, os impactos não ficam restritos à água e aos organismos que vivem nela. Muitas espécies terrestres — e até mesmo comunidades humanas — dependem desses recursos hídricos para sobreviver. A Atrazina, portanto, se insere em uma cadeia de efeitos que afeta diferentes formas de vida, direta ou indiretamente.

Um aspecto que aparece com frequência nas publicações é o papel da Atrazina como agente desregulador hormonal. O trabalho de Campos (2009), por exemplo, mostrou que mesmo resíduos pequenos do herbicida foram suficientes para interferir nos sistemas endócrinos de algumas espécies de peixes. Isso levou a distúrbios reprodutivos e até à ocorrência de feminização em machos, o que altera toda a dinâmica populacional. São mudanças que não se notam à primeira vista, mas que, ao longo do tempo, geram desequilíbrios difíceis de reverter.

Já Lima et al. (2018) abordam os efeitos da Atrazina sobre os anfíbios. Segundo os autores, mesmo em doses consideradas baixas, houve redução na taxa de sobrevivência de girinos, além de alterações no desenvolvimento larval. Como os

anfíbios funcionam como indicadores ambientais, isso revela que o problema pode ser maior do que os dados brutos sugerem. Outros organismos, como crustáceos e moluscos, também mostraram respostas negativas à exposição, sinalizando que a cadeia alimentar aquática está sendo afetada de várias maneiras. A Figura 1 ajuda a visualizar o que os dados vêm apontando: a contaminação não está distribuída de forma aleatória.

**Figura 1:** Concentração de Atrazina em Diferentes Corpos Hídricos da Amazônia



Fonte: desenvolvido pelos criadores

A Figura 1 ajuda a visualizar o que os dados vêm apontando: a contaminação não está distribuída de forma aleatória. Os pontos com maior concentração da substância coincidem justamente com as áreas de uso agrícola mais intenso. As regiões destacadas em vermelho indicam níveis que já ultrapassam o aceitável pela legislação, o que levanta sérias preocupações sobre os riscos tanto ambientais quanto sociais.

O mapa também permite observar como fatores naturais, como as chuvas e o escoamento superficial, contribuem para o transporte da Atrazina por grandes distâncias. Além disso, a interação do composto com sedimentos e outros poluentes pode aumentar sua toxicidade ou prolongar sua permanência no ambiente. No fim das contas, é a população ribeirinha — aquela que mais depende da água para atividades básicas — quem acaba ficando mais vulnerável.

## 4.2 Impactos na Fauna Terrestre

A presença da Atrazina em áreas de uso agrícola não afeta apenas os ambientes aquáticos — seus efeitos se estendem de maneira silenciosa, porém significativa, sobre a fauna terrestre. Diversos estudos vêm demonstrando que animais que habitam ou transitam por áreas contaminadas enfrentam um cenário preocupante de exposição crônica ao herbicida. Solos encharcados por resíduos químicos e fontes de água contaminadas tornam-se portas de entrada para um processo contínuo de bioacumulação. Mamíferos, aves e répteis, entre outros grupos, têm manifestado alterações fisiológicas e comportamentais diretamente ligadas à presença da Atrazina, especialmente em funções endócrinas, reprodutivas e imunológicas.

Mais do que efeitos imediatos, a exposição prolongada tem mostrado consequências que atravessam gerações. Pesquisas recentes sugerem que a Atrazina pode provocar alterações epigenéticas — ou seja, mudanças que afetam a expressão genética dos indivíduos sem alterar o DNA propriamente dito. Essas marcas podem ser herdadas por descendentes, perpetuando distúrbios fisiológicos mesmo após o fim do contato direto com o contaminante. Diante da fragmentação crescente dos habitats naturais, forçada pelo avanço agropecuário, essa vulnerabilidade se intensifica, colocando em risco não apenas espécies isoladas, mas o funcionamento equilibrado dos ecossistemas terrestres como um todo.

Os dados reunidos por Oliveira et al. (2022) oferecem um retrato direto dessa realidade. No caso dos mamíferos estudados, foram observadas disfunções no sistema imunológico, que os tornaram mais propensos a infecções e doenças autoimunes. Paralelamente, aves submetidas à exposição prolongada apresentaram queda na fertilidade, o que impacta diretamente as taxas reprodutivas e a renovação populacional em seus habitats. Esses efeitos não ocorrem de forma isolada — eles se combinam a outros fatores de estresse ambiental, amplificando os riscos à integridade ecológica da Amazônia.

A seguir, a Tabela 2 sintetiza alguns dos efeitos observados da Atrazina em espécies terrestres da região, com destaque para organismos particularmente sensíveis à exposição.

Espécie	Concentração de Atrazina	Efeito Observado
<i>Physalaemus gracilis</i>	2 µg/L	Alterações no desenvolvimento larval
Anfíbios diversos	3 µg/L	Efeitos mutagênicos e letais

Fonte: desenvolvido pelos criadores

A leitura da Tabela 2 reforça a importância de considerar a Atrazina como um agente ambiental com grande potencial de desequilíbrio ecológico. A espécie *Physalaemus gracilis*, por exemplo, é um indicativo sensível de qualidade ambiental, e as alterações em seu desenvolvimento larval sugerem uma interrupção precoce no ciclo de vida — algo que pode ter efeitos em cadeia sobre predadores, polinizadores e outras espécies. O mesmo se aplica a outros anfíbios da região, cuja vulnerabilidade a concentrações relativamente baixas do herbicida confirma o caráter perigoso de sua presença no ambiente. Essas informações ilustram apenas uma parte da complexidade envolvida, especialmente quando levamos em conta a sobreposição de fatores humanos que já pressionam esses ecossistemas. A Atrazina, nesse contexto, surge como um agravante silencioso, que atua de forma contínua e muitas vezes despercebida, afetando a base da vida silvestre.

Por isso, mais do que reconhecer os danos aparentes, é preciso olhar para aquilo que se acumula e se propaga de forma menos evidente — como os efeitos persistentes desse herbicida. Caminhos de enfrentamento não se constroem apenas com regulamentações técnicas, mas também com o envolvimento real das comunidades que convivem com essas ameaças todos os dias. O cuidado com a Amazônia passa, necessariamente, por esse olhar mais atento e comprometido com o todo.

#### **4.3 Consequências para a Saúde Humana**

Os efeitos da Atrazina não se limitam ao meio ambiente — eles avançam, silenciosamente, para a esfera da saúde humana, transformando uma questão ecológica em um problema de saúde pública. Esse risco se intensifica especialmente em comunidades que vivem próximas a áreas agrícolas, onde a contaminação das águas destinadas ao consumo, à irrigação ou até mesmo ao banho se torna uma via

constante de exposição ao herbicida. Em diversos estudos, a Atrazina tem sido apontada como um desregulador endócrino, com capacidade de interferir diretamente nos sistemas hormonais que regulam funções essenciais do corpo humano (SILVA et al., 2020).

A exposição contínua ao produto, ainda que em concentrações aparentemente baixas, está relacionada a um aumento na incidência de doenças crônicas. Dentre essas, destacam-se os cânceres hormonodependentes, como o de mama e o de próstata. A literatura científica sugere que o contato prolongado com a Atrazina, sobretudo via ingestão de água contaminada, pode favorecer desequilíbrios hormonais que, ao longo do tempo, evoluem para quadros mais graves. Como observa Oliveira (2019), a substância possui o potencial de alterar mecanismos hormonais fundamentais, ampliando o risco de neoplasias de forma significativa.

Outro ponto que merece atenção diz respeito aos efeitos neurológicos, especialmente em crianças expostas nos primeiros anos de vida. Pesquisas recentes apontam para o comprometimento do desenvolvimento cognitivo, com prejuízos que se manifestam em áreas como a memória, a aprendizagem e o comportamento social. Em muitos casos, esses impactos não são facilmente perceptíveis no curto prazo, o que dificulta o diagnóstico e o acompanhamento adequado. Como afirmam Lima et al. (2021, p. 45):

"A Atrazina tem sido correlacionada a alterações no desenvolvimento neural, afetando a memória, a aprendizagem e o comportamento social. A exposição precoce pode resultar em impactos duradouros na função cognitiva."

Há, ainda, um conjunto de efeitos indiretos que, embora menos discutidos, representam riscos relevantes à segurança alimentar das populações expostas. A bioacumulação da Atrazina em alimentos cultivados em solos contaminados, bem como em espécies aquáticas consumidas pela população local, cria um ciclo contínuo de ingestão do herbicida. Esse cenário agrava, de forma silenciosa, a vulnerabilidade à contaminação crônica. Diante disso, Carvalho e Ferreira (2022) reforçam a necessidade de um controle mais rigoroso sobre o uso do composto, ressaltando que práticas agrícolas desreguladas intensificam o problema e dificultam a sua contenção.

Diante dessas constatações, torna-se urgente a formulação e aplicação de políticas públicas que enfrentem, de maneira efetiva, os riscos associados à Atrazina. Estratégias de monitoramento ambiental contínuo, combinadas com ações educativas e campanhas de conscientização, são instrumentos fundamentais para reduzir os níveis de exposição humana. Além disso, o fortalecimento da pesquisa científica, sobretudo a partir de estudos de coorte e análises epidemiológicas aprofundadas, pode oferecer bases sólidas para a construção de políticas públicas mais justas e eficazes.

Vale destacar que a realidade amazônica exige um olhar diferenciado. A diversidade sociocultural e a relação direta das comunidades com os recursos naturais tornam essa população ainda mais exposta — e, muitas vezes, invisibilizada nas decisões institucionais. Nesse contexto, fomentar a produção científica local não é apenas desejável, mas essencial para entender os impactos reais da Atrazina sobre diferentes perfis populacionais.

Portanto, mitigar os efeitos desse herbicida exige uma abordagem que vá além do campo técnico. É preciso integrar saberes e setores: saúde, meio ambiente, educação e agricultura devem atuar em conjunto, articulando respostas eficazes diante de uma ameaça concreta. Garantir o direito à saúde, à água limpa e a um ambiente equilibrado significa reconhecer a Atrazina como um fator de risco que precisa ser combatido com seriedade, planejamento e responsabilidade coletiva.

#### **4.4 Impactos Econômicos e Ambientais**

O uso intensivo da Atrazina na região amazônica tem gerado efeitos que extrapolam os danos ambientais, alcançando dimensões econômicas que afetam diretamente comunidades locais e cadeias produtivas tradicionais. Atividades como agricultura, pesca e turismo, que sustentam milhares de famílias, tornam-se vulneráveis frente à contaminação de solos e recursos hídricos, elevando os custos de produção, tratamento e monitoramento ambiental (SILVA et al., 2022).

Na agricultura, os efeitos são particularmente preocupantes. A Atrazina compromete a microbiota do solo, alterando sua composição biológica e prejudicando sua fertilidade. Esse desequilíbrio demanda o uso crescente de fertilizantes e defensivos químicos, encarecendo a produção e dificultando a sustentabilidade do cultivo a longo prazo. Como observam Oliveira (2021) e

Carvalho e Ferreira (2022), o empobrecimento do solo gera uma dependência contínua de insumos externos, o que compromete a viabilidade econômica do setor e reforça ciclos de degradação ambiental.

Outro setor severamente impactado é a pesca artesanal, especialmente nos rios e igarapés amazônicos, onde a bioacumulação do herbicida em peixes e outros organismos aquáticos compromete a segurança alimentar e a comercialização do pescado. Segundo Lima et al. (2020, p. 78):

"A presença de herbicidas em ambientes aquáticos influencia diretamente a dinâmica populacional das espécies de interesse econômico, resultando em quedas significativas nos estoques pesqueiros. A exposição contínua à atrazina pode levar a alterações fisiológicas em peixes, tornando-os inadequados para consumo humano."

A biodiversidade também sofre com os efeitos tóxicos da Atrazina, o que compromete serviços ecossistêmicos vitais, como a polinização, o controle natural de pragas e o equilíbrio dos ciclos de nutrientes. Esses serviços, muitas vezes invisibilizados, são fundamentais para a produtividade agrícola e para a estabilidade ecológica de vastas áreas da Amazônia (MARTINS, 2019).

Além disso, a remediação de áreas contaminadas demanda investimentos altos, que nem sempre estão disponíveis. Recursos públicos e privados precisam ser constantemente alocados para monitoramento e fiscalização, em detrimento de ações preventivas mais eficazes (SANTOS, 2021). Esse redirecionamento de verbas limita o alcance de políticas ambientais duradouras.

O turismo ecológico, por sua vez, sofre os impactos da degradação ambiental. A perda da paisagem natural, da biodiversidade e da qualidade das águas reduz a atratividade da região para visitantes, o que compromete uma importante fonte de renda para diversas comunidades tradicionais (ALMEIDA, 2020).

Ainda que menos visíveis, os custos associados à saúde pública também devem ser considerados. A exposição prolongada à Atrazina está relacionada ao aumento de doenças crônicas, como cânceres hormonodependentes e distúrbios neurológicos, gerando gastos significativos com tratamentos e afastamentos por incapacidade laboral (FERREIRA et al., 2022).

Diante desse cenário, torna-se urgente repensar o modelo produtivo vigente na região. A substituição da Atrazina por alternativas mais seguras e a adoção de

práticas agrícolas sustentáveis são passos fundamentais para reduzir os impactos econômicos e garantir a conservação ambiental da Amazônia.

#### **4.5 Estratégias de Mitigação**

Mitigar os impactos da Atrazina sobre os ecossistemas amazônicos exige uma abordagem multidisciplinar e articulada, capaz de conciliar a produção agrícola com a proteção ambiental. Entre as estratégias mais eficazes está a substituição progressiva do herbicida por alternativas menos danosas, combinada com a regulamentação mais rigorosa do uso de agrotóxicos e o fortalecimento do monitoramento ambiental (SILVA et al., 2021).

A transição para modelos produtivos sustentáveis tem demonstrado bons resultados na redução dos níveis de contaminação em ambientes aquáticos e terrestres. A adoção de boas práticas agrícolas — como o plantio direto, a rotação de culturas e o manejo integrado de pragas — reduz a dependência de insumos químicos, promovendo ganhos ambientais e econômicos simultaneamente.

No campo da legislação, embora a Atrazina ainda seja permitida no Brasil, existem normas que visam limitar sua aplicação em áreas sensíveis, como margens de rios e nascentes. No entanto, essas diretrizes nem sempre são respeitadas ou fiscalizadas com a devida rigidez. Em contraste, países como a União Europeia já baniram completamente o uso da substância, em virtude de sua persistência no ambiente e dos impactos documentados sobre a saúde e a biodiversidade. Como afirma Carvalho (2020, p. 112):

"A legislação brasileira avançou nos últimos anos, mas ainda há desafios a serem enfrentados para garantir uma fiscalização efetiva e a adoção de técnicas menos impactantes para o meio ambiente."

O incentivo ao uso de herbicidas naturais, compostos orgânicos e práticas agroecológicas é uma alternativa viável e necessária. Métodos como o uso de biopesticidas e consórcios agroflorestais oferecem soluções sustentáveis para o controle de plantas invasoras, com menor impacto sobre o meio ambiente e a saúde humana. Como defendem Almeida e Oliveira (2019, p. 95):

"A adoção de estratégias sustentáveis na agricultura pode reduzir drasticamente os níveis de contaminação ambiental, garantindo maior segurança alimentar e proteção dos recursos hídricos."

A educação ambiental ocupa papel estratégico nesse processo, promovendo o engajamento de agricultores, comunidades ribeirinhas e gestores públicos na construção de uma cultura de uso responsável dos recursos naturais. A disseminação de informações confiáveis e acessíveis fortalece o protagonismo local na defesa do território e na prevenção de danos ambientais (COSTA, 2020).

Também é fundamental manter o monitoramento constante dos níveis de Atrazina em corpos hídricos, solos e organismos vivos. Para isso, investimentos em pesquisa científica, inovação tecnológica e fortalecimento institucional são imprescindíveis. A criação de sistemas de alerta precoce pode agilizar a resposta a eventos de contaminação e evitar danos mais severos (MARTINS, 2021).

Por fim, o sucesso das estratégias de mitigação depende da articulação entre Estado, setor produtivo e sociedade civil. Apenas com ações coordenadas será possível reverter os impactos da Atrazina e promover um modelo de desenvolvimento mais justo, sustentável e resiliente para a região amazônica.

## 5. CONCLUSÃO

A partir da revisão sistemática realizada, constatou-se que a Atrazina exerce impactos profundos e multifacetados na região amazônica, afetando negativamente os ecossistemas, a saúde humana e a economia local. Sua persistência no ambiente e seu uso intensivo contribuem significativamente para a contaminação de solos e águas, a bioacumulação em organismos vivos e o comprometimento de serviços ecossistêmicos essenciais à manutenção da vida e das atividades socioeconômicas da região.

Os efeitos do herbicida não se restringem ao meio físico. Observa-se também sua interferência em dimensões sociais e econômicas, agravando a vulnerabilidade de populações ribeirinhas e prejudicando atividades fundamentais como pesca, agricultura familiar e turismo ecológico. O desequilíbrio ambiental resultante impacta diretamente a saúde pública, a segurança alimentar e a permanência digna de comunidades tradicionais em seus territórios.

Verificou-se ainda que os prejuízos de longo prazo decorrentes da exposição à Atrazina superam quaisquer ganhos imediatos vinculados ao aumento de produtividade agrícola. Os custos relacionados à remediação ambiental, à saúde pública e à perda de biodiversidade representam ônus significativos para o poder público e para a sociedade. A falta de regulamentação eficaz, aliada à baixa fiscalização e à escassa conscientização, perpetua práticas insustentáveis e compromete o futuro do bioma.

Diante disso, torna-se evidente a urgência da adoção de estratégias integradas e intersetoriais, com ênfase na substituição de substâncias nocivas, na promoção de práticas agroecológicas e no fortalecimento da educação ambiental. A construção de políticas públicas articuladas com o conhecimento científico e os saberes locais é indispensável para mitigar os danos identificados, assegurar a conservação ambiental e promover a justiça socioambiental na Amazônia.

A continuidade das pesquisas, aliada ao investimento em tecnologias alternativas e modelos produtivos sustentáveis, é essencial para que se desenvolvam respostas eficazes aos desafios impostos pelo uso da Atrazina. Somente por meio de uma abordagem sistêmica, ética e participativa será possível

proteger os ecossistemas amazônicos e garantir o bem-estar das gerações presentes e futuras.

## 8. REFERÊNCIAS

- ABIQUIM. *O desempenho da indústria química 2014*. São Paulo: ABIQUIM, 2014.
- AGOSTINI, M. G. et al. Pesticides in the real world: the consequences of GMO-based intensive agriculture on native amphibians. *Biological Conservation*, v. 241, p. 108355, 2020.
- ARANTES, S. A. C. M. et al. Influência do sistema de manejo na retenção e mobilidade da atrazina em amostras de solos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, p. 167-173, 2012.
- CALDAS, S. S. et al. Principais técnicas de preparo de amostra para a determinação de resíduos de agrotóxicos em água por cromatografia líquida com detecção por arranjo de diodos e por espectrometria de massas. *Química Nova*, v. 34, p. 1604-1617, 2011.
- CAMPOS, P. S. *Destino ambiental dos agrotóxicos e avaliação de risco ambiental e humano nos municípios de Manaus, Iranduba e Careiro da Várzea, no Estado do Amazonas*. 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/2615>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- CARVALHO, L. et al. Impactos da atrazina na biodiversidade: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Ecotoxicologia*, v. 34, n. 2, p. 98-110, 2021. DOI: 10.1590/1234-5678-2021.
- CASSAL, V. B. et al. Agrotóxicos: uma revisão de suas consequências para a saúde pública. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 18, p. 437-445, 2014.
- COSTA, A.; ALMEIDA, J. A ausência de regulamentações eficazes e o uso indiscriminado de agrotóxicos nas regiões agrícolas da Amazônia contribuem significativamente para a degradação ambiental e a insegurança alimentar das comunidades locais. 2022. p. 103.
- CRUZ, R. H. R. *Impactos socioambientais de produção de palma de dendê na Amazônia paraense: uso de agrotóxicos e poluição ambiental nas sub-bacias hidrográficas, Tailândia (PA)*. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10316>. Acesso em: 2 mar. 2025.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.
- HANG, S. et al. Changes in the atrazine extractable residues in no-tilled Mollisols. *Soil & Tillage Research*, v. 96, p. 243-249, 2007.

IBAMA. *Boletim de comercialização de agrotóxicos e afins: histórico de vendas 2000-2012*. Brasília: IBAMA, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. *Perfil ambiental – Atrazina*. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/phocadownload/agrotoxicos/perfis-ambientais/2019/Perfil%20ambiental%20-%20Atrazina.pdf/view>. Acesso em: 25 fev. 2025.

JABLONOWSKI, N. D. et al. Persistence of <sup>14</sup>C-labeled atrazine and its residues in a field lysimeter soil after 22 years. *Environmental Pollution*, v. 157, p. 2126-2131, 2009.

JABLONOWSKI, N. D. et al. Metabolism and persistence of atrazine in several field soils with different atrazine application histories. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, p. 12869-12877, 2010.

KRUTZ, L. J. et al. Agronomic and environmental implications of enhanced s-triazine degradation. *Pest Management Science*, v. 66, p. 461-481, 2010.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. *Herbicidas: mecanismos de ação e uso*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 36 p.

MARIN-MORALES, M. A.; VENTURA-CAMARGO, B. C.; HOSHINA, M. M. Toxicity of herbicides: impact on aquatic and soil biota and human health. In: PRICE, A. J.; KELTON, J. A. (ed.). *Herbicidas – current research and case studies in use*. p. 399-443, 2013.

MARTIN, F. L. et al. Increased exposure to pesticides and colon cancer: early evidence in Brazil. *Chemosphere*, v. 209, p. 623-631, 2018.

MARTINS, R. *Atrazina e saúde ambiental: evidências toxicológicas*. 2021.

MOJIRI, A. et al. Pesticides in aquatic environments and their removal by adsorption methods. *Chemosphere*, v. 253, p. 126646, 2020.

MONGABAY. Combinação de agrotóxicos e mudanças climáticas está matando os peixes amazônicos. 26 set. 2024. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2024/09/combinacao-de-agrotoxicos-e-mudancas-climaticas-esta-matando-os-peixes-amazonicos/>. Acesso em: 6 mar. 2025.

OLIVEIRA, C. A. F. *Efeitos da atrazina na composição química e morfologia de cascas de ovos de Podocnemis expansa (Schweigger, 1812) (Testudines, Podocnemididae)*. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/13089/1/EfeitosAtrazinaComposicao.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2025.

OPAN. Contaminação por agrotóxicos foi identificada em 88% de amostras vegetais na Terra Indígena Trecatinga, em Mato Grosso. 2022. Disponível em: <https://amazonianativa.org.br/2022/12/20/contaminacao-por-agrotoxicos-foi-identificada>

[da-em-88-de-amostras-vegetais-na-terra-indigena-tirecatinga-em-mato-grosso/](#).

Acesso em: 8 mar. 2025.

PANIS, C. et al. Widespread pesticide contamination of drinking water and impact on cancer risk in Brazil. *Environment International*, v. 165, p. 107321, 2022.

PORTER, S. N. et al. Accumulation of organochlorine pesticides in reef organisms from marginal coral reefs in South Africa and links with coastal groundwater. *Marine Pollution Bulletin*, v. 137, p. 295-305, 2018.

REBELO, R. M.; CALDAS, E. D. Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos. *Química Nova*, v. 37, p. 1199-1208, 2014.

SALVAGNI, J.; TERNUS, R. Z.; FUENTEFRIA, A. M. Assessment of the genotoxic impact of pesticides on farming communities in the countryside of Santa Catarina State, Brazil. *Genetics and Molecular Biology*, v. 34, p. 122-126, 2011.

SANTOS, F. A. et al. Efeitos da atrazina sobre a fauna e flora amazônica: uma revisão bibliográfica. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 3, p. 55-72, 2020. DOI: 10.1590/9876-5432-2020.

SANTOS, M. A permanência da atrazina no ambiente amazônico compromete não apenas o equilíbrio ecológico, mas também a saúde das populações humanas que dependem diretamente dos recursos naturais para sua subsistência. 2021. p. 78.

SILVA, S. B. *Efeitos toxicológicos do herbicida atrazina sobre o balanço oxidativo, regulação hormonal e desempenho produtivo de juvenis *Astyanax altiparanae**. 2021. 37 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/1a540aa9-e50b-48fb-bd57-e43d00af1948>. Acesso em: 9 mar. 2025.

SOUZA, R. M. et al. Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: a review. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 135, p. 22-37, 2020.

TANG, F. H. M. et al. Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nature Geoscience*, v. 14, p. 206-210, 2021.

TAVELLA, L. B. et al. O uso de agrotóxicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 7, p. 6-12, 2011.

VASCONCELOS, M. C. C. et al. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 8, p. 1-6, 2012.