

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "Júlio de Mesquita Filho"
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU

Impactos Toxicológicos da Atrazina: Revisão da Literatura sobre
Riscos Potenciais à Saúde Humana

ISABELLA GARCIA SILVA

Orientadora: Sarah Setznagl

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biotecnologia, Câmpus de Botucatu, UNESP,
para obtenção de Bacharel em Ciências Biomédicas.

BOTUCATU – SP
2026

S586i Silva, Isabella Garcia
Impactos toxicológicos da atrazina: revisão da literatura sobre
riscos potenciais à saúde humana / Isabella Garcia Silva. -- Botucatu,
2026
23 f.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências
Biomédicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de
Biociências, Botucatu
Orientadora: Sarah Setznagl

1. Atrazina; herbicidas; Epidemiologia Pesquisa; impactos
toxicologia; contaminação do ambiente. I. Título.

Isabella Garcia Silva

Impactos Toxicológicos da Atrazina: Revisão da Literatura sobre Riscos Potenciais à Saúde Humana

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado a Universidade Estadual
Paulista, como parte das exigências para
a obtenção do título de Bacharel, do curso
de Graduação em Ciências Biomédicas.

Local, 26 de Junho de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Sarah Setznagl
Afiliações

Prof. Alaor Aparecido Almeida
Afiliações

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de ingressar nesta universidade e por ter me dado força, sabedoria e perseverança ao longo desta caminhada acadêmica. Sem Sua presença e orientação, nada disso seria possível.

À minha família, em especial à minha mãe, Raquel, agradeço por todo amor, dedicação e esforço para que este sonho se tornasse realidade. Ao meu irmão, Ewerton, obrigada pelo apoio constante, incentivo e inspiração em todos os momentos.

Botucatu foi um lugar de grande aprendizado pessoal e profissional. À minha segunda família, a República Luz Vermelha, agradeço pela amizade, companheirismo e por tornarem essa jornada mais leve, feliz e inesquecível.

Aos meus amigos, especialmente à Mariana, agradeço por compartilharem comigo sonhos, desafios e momentos que tornaram essa trajetória ainda mais especial.

Agradeço aos meus colegas, docentes, colaboradores do Ceatox – Centro de Assistência Toxicológica e aos colegas da Eurofarma, que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

À minha orientadora Sarah, meu sincero agradecimento pela orientação, apoio e pela oportunidade de crescimento durante o estágio e o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu namorado, Bruno, agradeço pelo carinho, incentivo e companheirismo nesta fase final da graduação.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte desta importante etapa da minha vida e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste sonho.

RESUMO

A atrazina é um herbicida amplamente utilizado no controle de ervas daninhas em culturas agrícolas, especialmente em plantações de milho e cana-de-açúcar. Apesar de sua eficácia agrônômica, sua persistência ambiental e potencial de contaminação de solos e águas têm levantado preocupações sobre os riscos à saúde humana. A partir da análise de estudos selecionados, esta revisão examina os principais efeitos toxicológicos associados à exposição à atrazina, com foco em alterações endócrinas, distúrbios reprodutivos, impactos neurocomportamentais, síndromes metabólicas e possível carcinogenicidade. Evidências em modelos animais demonstram mecanismos de toxicidade relacionados ao estresse oxidativo, à desregulação hormonal e à interferência no eixo hipotálamo-hipófise-gonadal. Em seres humanos, pesquisas epidemiológicas indicam associações com problemas de fertilidade, malformações congênitas e maior risco de determinados tipos de câncer, embora ainda existam controvérsias quanto à consistência dos resultados. Do ponto de vista da saúde pública, a atrazina representa um desafio, especialmente em países que mantêm a autorização para seu uso agrícola, como o Brasil. Assim, compreender seus impactos toxicológicos é fundamental para o auxílio na avaliação de riscos e na formulação de estratégias de vigilância e prevenção. As bases de dados usadas foram Google Acadêmico, PubMed e SciELO, com descritores em português e inglês, atrazina, herbicidas, toxicidade da atrazina, exposição a agrotóxicos, atrazine toxicity and human health effects. Esta revisão busca reunir e analisar criticamente um conjunto selecionado da literatura científica sobre os potenciais riscos da atrazina à saúde humana, contribuindo para um debate mais informado sobre sua segurança e uso sustentável.

Palavras-chave: Atrazina; herbicida; saúde humana; pesquisas epidemiológicas, impactos toxicológicos; contaminação ambiental.

ABSTRACT

Atrazine is a herbicide widely used for weed control in agricultural crops, especially in corn and sugarcane plantations. Despite its agronomic effectiveness, its environmental persistence and potential for soil and water contamination have raised concerns regarding risks to human health. Based on the analysis of selected studies, this review examines the main toxicological effects associated with atrazine exposure, focusing on endocrine alterations, reproductive disorders, neurobehavioral impacts, metabolic syndromes, and possible carcinogenicity. Evidence from animal models demonstrates toxicity mechanisms related to oxidative stress, hormonal dysregulation, and interference with the hypothalamic-pituitary-gonadal axis. In humans, epidemiological studies indicate associations with fertility problems, congenital malformations, and an increased risk of certain types of cancer, although controversies remain regarding the consistency of these findings. From a public health perspective, atrazine poses a challenge, particularly in countries that continue to authorize its agricultural use, such as Brazil. Therefore, understanding its toxicological impacts is essential to support risk assessment and the development of surveillance and prevention strategies. The databases used were Google Scholar, PubMed, and SciELO, with descriptors in Portuguese and English: atrazine, herbicides, atrazine toxicity, pesticide exposure, atrazine toxicity and human health effects. This review aims to gather and critically analyze a selected body of scientific literature on the potential risks of atrazine to human health, contributing to a more informed debate on its safety and sustainable use.

Keywords: Atrazine; herbicide; human health; epidemiological studies; toxicological impacts; environmental contamination.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
<u>1.1.</u>	PESTICIDAS E HERBICIDAS NO SETOR AGRÍCOLA	7
1.2.	ATRAZINA	7
1.3.	IMPORTÂNCIA DA ATRAZINA COMO HERBICIDA AMPLAMENTE UTILIZADO	9
1.4.	CONTAMINAÇÃO	9
1.5.	EFEITOS TOXICOLÓGICOS PARA A SAÚDE HUMANA.....	11
1.6.	JUSTIFICATIVA	12
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	13
<u>2.2.</u>	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3.	METODOLOGIA.....	13
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	14
4.1.	NEUROTOXICIDADE	17
4.2.	DESREGULAÇÃO ENDÓCRINA E SAÚDE REPRODUTIVA	17
4.3.	SÍNDROMES METABÓLICAS	18
4.4.	CARCINOGENICIDADE	19
5.	CONCLUSÃO	20
6.	REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

1.1. PESTICIDAS E HERBICIDAS NO SETOR AGRÍCOLA

Os agrotóxicos compreendem substâncias ou misturas de substâncias utilizadas na agricultura com o objetivo de controlar pragas, doenças e plantas invasoras, atuando sobre organismos como insetos, fungos, larvas e carrapatos (INCA, 2021). Embora seu uso seja amplamente justificado pelos ganhos de produtividade agrícola e pelos reflexos positivos na economia, a exposição a esses compostos representa um risco significativo à saúde humana e ao meio ambiente, especialmente quando ocorre por meio do consumo de água e alimentos contaminados (RÓDIO; ROSSET; BRANDALIZE, 2021; PINTO et al., 2024).

Embora a agricultura seja uma das atividades humanas mais antigas, com registros de mais de 10 mil anos, o uso de agrotóxicos para o controle de pragas e doenças nas lavouras é um fenômeno muito mais recente. Seu desenvolvimento está diretamente ligado ao contexto pós-guerras mundiais, quando indústrias de armamentos químicos buscaram novos mercados para suas tecnologias, encontrando na agricultura um campo fértil para a comercialização de seus compostos (LONDRES, 2015; FONTES et al., 2021).

O crescimento do consumo e da fabricação de agrotóxicos nas últimas décadas tem sido acompanhado pelo aumento de registros de doenças associadas à exposição a essas substâncias (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018). Nesse sentido, investigações toxicológicas, clínicas e epidemiológicas têm evidenciado associações entre o contato com agrotóxicos e o desenvolvimento de diversas condições de saúde, com destaque para neoplasias e distúrbios de base hormonal (PLUTH, 2017; SANTOS et al., 2018; FONTES et al., 2021).

Quando se refere a intoxicações advindas de agrotóxicos, vale ressaltar que não se trata apenas no quesito da insegurança alimentar, como a absorção do mesmo em águas contaminadas e alimentos, como também para o risco ocupacional dos trabalhadores rurais que manipulam os compostos em suas atividades laborais. Desta forma, a exposição direta que os trabalhadores rurais têm a estes produtos ao longo de suas jornadas de trabalho traz um forte risco à saúde e faz deles os mais afetados. (MAIA et al., 2018; RÓDIO; ROSSET; BRANDALIZE, 2021).

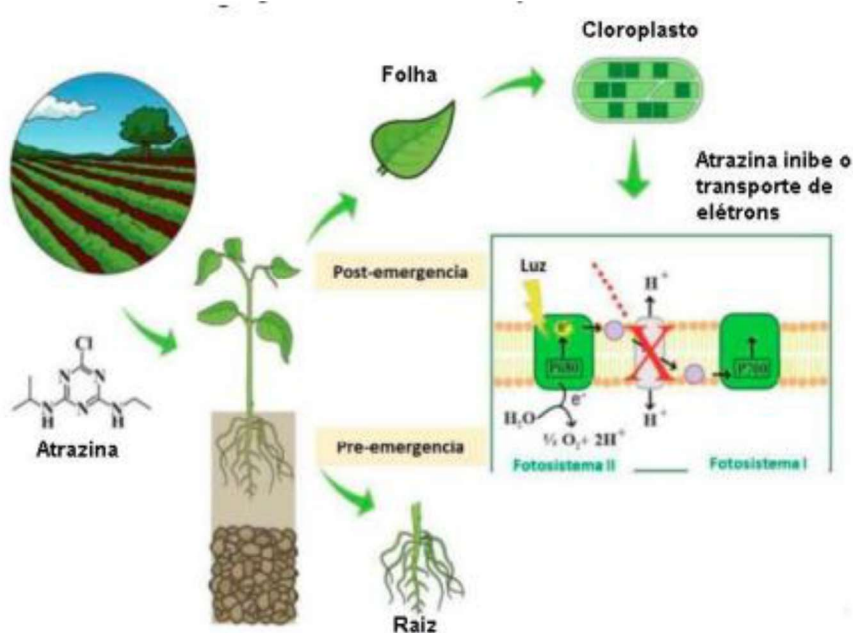
1.2. ATRAZINA

A atrazina é um herbicida sintético pertencente à classe das clorotriazinas, amplamente utilizado na agricultura para o controle seletivo de ervas daninhas. Devido à sua eficiência

agronômica e ao seu baixo custo de produção, consolidou-se como um dos herbicidas mais empregados mundialmente, especialmente em culturas de milho, sorgo e cana-de-açúcar. Seu mecanismo de ação nas plantas baseia-se na inibição de enzimas essenciais ao processo fotossintético, comprometendo a produção de energia vegetal e levando à morte das plantas invasoras. (WHO, 2011; TELEKEN, 2025).

O mecanismo de ação da atrazina nas plantas baseia-se na inibição do Fotossistema II durante a reação de Hill, promovendo o bloqueio do transporte de elétrons e, conseqüentemente, a inibição da fotossíntese. Como resultado, ocorre bloqueio na síntese de carboidratos, redução das reservas de carbono e acúmulo de gás carbônico no interior das folhas, comprometendo a produção de energia vegetal e levando à morte das plantas invasoras. A absorção do herbicida ocorre de forma distinta conforme o estágio de desenvolvimento da planta daninha: na pré-emergência, a atrazina é absorvida predominantemente pelas raízes, acumulando-se nos meristemas apicais e nas folhas; já na pós-emergência, a entrada ocorre principalmente pela superfície foliar (ANDRETTA, 2022).

Figura 1: Mecanismo de ação da Atrazina



Fonte: Andretta (2022, p. 13), adaptado de Gagneten et al. (2021).

Do ponto de vista químico, a molécula apresenta características físico-químicas que favorecem sua mobilidade no ambiente, como moderada solubilidade em água e baixa capacidade de adsorção às partículas do solo, o que contribui para sua persistência e detecção frequente em recursos hídricos superficiais e subterrâneos (WHO, 2011). Apesar de sua ampla

utilização, preocupações com seus possíveis efeitos sobre a saúde humana e o meio ambiente levaram à sua proibição em diversos países, incluindo os membros da União Europeia, enquanto no Brasil seu uso permanece permitido. (TELEKEN, 2025).

1.3. IMPORTÂNCIA DA ATRAZINA COMO HERBICIDA AMPLAMENTE UTILIZADO

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário agrícola mundial, beneficiado por condições climáticas favoráveis e pela ampla disponibilidade de áreas cultiváveis. Essa conjuntura impulsiona o uso intensivo de pesticidas no país, justificado pela alta eficiência agrônômica, pelo baixo custo e por uma legislação historicamente permissiva (BROVINI et al., 2021; TELEKEN, 2025).

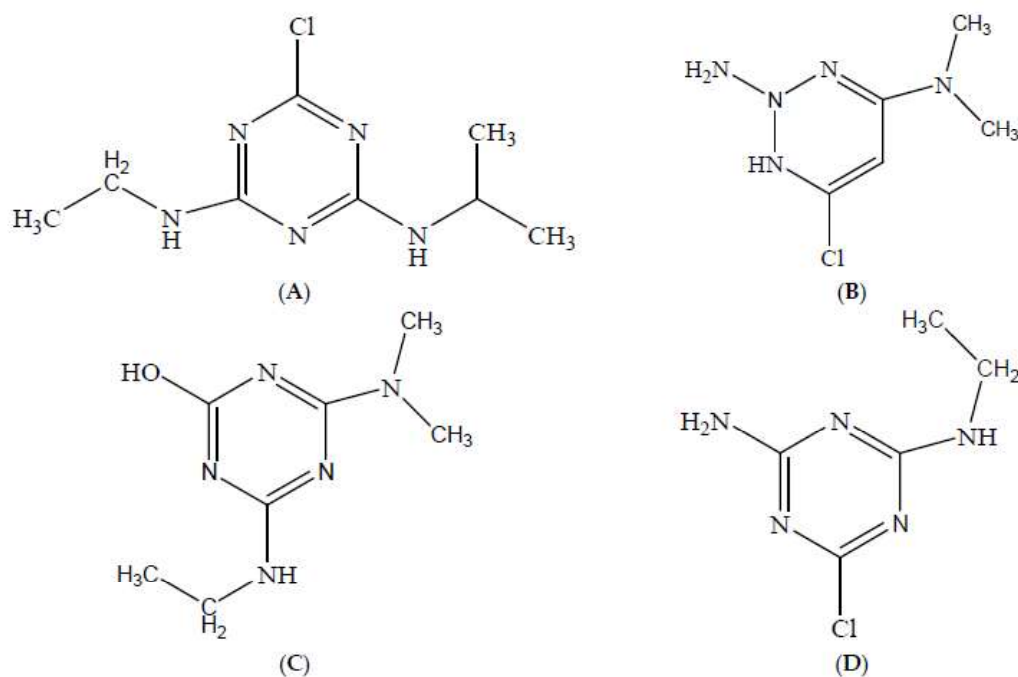
Entre os dez ingredientes ativos mais comercializados no Brasil, três — acefato, atrazina e paraquat — são proibidos na União Europeia. Outro contraste relevante diz respeito à regulação da qualidade da água: enquanto países europeus estabelecem limites para a concentração total de pesticidas, a legislação brasileira fixa limites apenas por ingrediente ativo individualmente, tanto para alimentos quanto para a água. Essa abordagem favorece a formação dos chamados "coquetéis de pesticidas", cujos efeitos combinados podem ser consideravelmente mais tóxicos do que os de cada substância isolada (IPEA, 2019; TELEKEN, 2025). Um exemplo dessa potencialização foi demonstrado por Teleken (2025), ao comparar os efeitos do princípio ativo glifosato isolado com os de sua formulação comercial em células de hepatócitos humanos (HepG2): a formulação comercial resultou em maior produção de peróxido de hidrogênio mitocondrial e em expressão diferencial de 7.371 genes em comparação ao ingrediente ativo puro, com ativação de vias relacionadas ao estresse oxidativo, estresse de retículo endoplasmático, autofagia e apoptose. Esses achados evidenciam que os adjuvantes e demais ingredientes presentes nas formulações comerciais — que não constam nos limites regulatórios — podem amplificar significativamente o potencial tóxico dos pesticidas.

1.4. CONTAMINAÇÃO

Do ponto de vista ambiental, a aplicação de agroquímicos provoca ampla dispersão de resíduos tóxicos no solo, na água e no ar, afetando organismos e ecossistemas que não eram alvos do tratamento. A atrazina pertence à classe das clorotriazinas e atua como herbicida sistêmico e seletivo, sendo amplamente aplicada no controle de ervas daninhas em culturas de milho, sorgo

e cana-de-açúcar (WHO, 2011). Após sua aplicação, o composto e seus principais metabólitos — desetil-atrazina (DEA), deisopropil-atrazina (DIA), e hidroxiatrazina — têm sido detectados em águas superficiais e subterrâneas, tanto pelo escoamento de áreas agrícolas quanto por eventos pontuais como derramamentos ou descarte inadequado (WHO, 2011; CATTLEY et al., 2025).

Figura 2 – Estruturas químicas da atrazina (ATZ) e seus principais metabólitos: (A) atrazina; (B) desetilatrastina (DEA); (C) hidroxiatrazina (HYA); (D) desisopropilatrastina (DIA).



Fonte: Zhang et al. (2022).

Em águas correntes, essa contaminação tende a ser intermitente, enquanto em águas subterrâneas a persistência é consideravelmente maior. Esse comportamento está diretamente relacionado às propriedades físico-químicas da atrazina: sua moderada solubilidade em água e baixa capacidade de aderência às partículas do solo favorecem o processo de lixiviação, que consiste no transporte vertical do composto pelas camadas do solo até atingir o lençol freático (WHO, 2011). Uma vez nas águas subterrâneas, a atrazina se degrada muito mais lentamente do que na superfície. Isso acontece porque o ambiente subterrâneo tem pouca atividade de microrganismos, sem luz solar e com temperaturas mais baixas — condições que dificultam sua decomposição natural. Como resultado, sua meia-vida pode chegar a mais de 700 dias em

aquíferos, enquanto no solo superficial esse valor geralmente não ultrapassa 109 dias (WHO, 2011; RODRIGUEZ-CABALLERO et al., 2022). O tipo de solo também influencia esse processo: solos arenosos retêm menos a atrazina e facilitam sua migração para camadas mais profundas, enquanto solos argilosos ricos em matéria orgânica tendem a adsorver a molécula com maior eficiência. Estudos de monitoramento nos Estados Unidos indicam que as concentrações de atrazina e seus metabólitos clorotriazínicos em poços rurais são frequentemente similares entre si, sendo a hidroxiatrazina detectada com maior frequência em águas subterrâneas do que superficiais (WHO, 2011).

Diante do cenário apresentado, é notável a necessidade de ações que diminuam os impactos negativos destes agentes toxicantes, que vão desde regulamentações mais rígidas até a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas, a agroecologia e tecnologias de biorremediação (SANTOS; SANTOS, 2023).

1.5. EFEITOS TOXICOLÓGICOS PARA A SAÚDE HUMANA

A exposição à atrazina e outros compostos similares para a população humana pode ocorrer por via ocupacional, ambiental e alimentar. As intoxicações provocadas por agroquímicos têm se manifestado de formas distintas, com repercussões agudas e crônicas significativas na saúde humana, podendo ser absorvida por via oral, inalatória e dérmica (ANSELMO, 2020).

A exposição à atrazina tem motivado investigações científicas sobre seus possíveis efeitos na saúde humana, tanto pela ação direta do composto quanto pela de seus produtos de degradação. Estudos apontam associações com anomalias gestacionais, como nascimentos prematuros e abortos espontâneos, além de interferências no ciclo menstrual e redução da fertilidade. O herbicida também tem sido investigado como potencial fator de risco para distúrbios neurológicos, especialmente em trabalhadores rurais com exposição ocupacional prolongada. Adicionalmente, evidências sugerem sua participação na indução de distúrbios metabólicos associados ao estresse oxidativo e à produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) (ANSELMO, 2020).

Estudos epidemiológicos têm documentado associações entre a exposição à atrazina e efeitos adversos na saúde reprodutiva. Comunidades que consumiam água contaminada com o herbicida apresentaram maiores taxas de nascimentos prematuros, desregulação do ciclo menstrual com evidências de ação antiestrogênica, e redução da qualidade seminal masculina (ANSELMO, 2020).

Em situações de alta exposição, como a ocupacional, a atrazina demonstrou capacidade de interferir no sistema dopaminérgico, inibindo a captação e o armazenamento de dopamina (DA). A redução nos níveis desse neurotransmissor sugere que o herbicida pode atuar como um tóxico dopaminérgico, representando um potencial fator de risco para o desenvolvimento da doença de Parkinson, condição caracterizada justamente pelo déficit de dopamina nas vias nigroestriatais do cérebro (ANSELMO, 2020).

A atrazina também tem sido associada à indução de estresse oxidativo, com aumento na concentração de espécies reativas de oxigênio (ERO) e de marcadores de dano oxidativo, como peróxidos de lipídios e malondialdeído. Contudo, esses efeitos foram observados predominantemente em tecidos periféricos, como fígado e rins, havendo carência de estudos que avaliem o estresse oxidativo especificamente no tecido cerebral e sua relação com alterações neurocomportamentais, lacuna relevante, considerando que o cérebro é particularmente vulnerável ao dano oxidativo por seu elevado consumo de oxigênio. Adicionalmente, grande parte dos estudos disponíveis utiliza concentrações de atrazina superiores às encontradas em condições ambientais reais, o que limita a extrapolação dos resultados para cenários de exposição humana cotidiana (ANSELMO, 2020).

Portanto, de maneira geral, existem ainda poucos trabalhos de pesquisa relacionando exposição à atrazina com possíveis efeitos de neurotoxicidade e os que existem são ainda pouco conclusivos.

1.6. JUSTIFICATIVA

Embora os efeitos tóxicos da atrazina sejam objeto de investigação científica há décadas, a literatura ainda apresenta lacunas importantes quanto aos mecanismos de ação em exposições crônicas em níveis ambientalmente relevantes, bem como divergências metodológicas que dificultam conclusões definitivas sobre causalidade. Diante disso, este trabalho justifica-se pela necessidade de sistematizar criticamente as evidências disponíveis sobre os impactos toxicológicos da atrazina à saúde humana, contribuindo para um debate mais fundamentado sobre a segurança do seu uso e para o fortalecimento de estratégias de vigilância e proteção à saúde pública no contexto brasileiro.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar, por meio de uma revisão da literatura científica, os impactos toxicológicos da atrazina e seus potenciais riscos à saúde humana, considerando as principais vias de exposição e os efeitos associados à contaminação ambiental.

2.2. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos, propõe-se:

- Descrever a utilização da atrazina no contexto da agricultura e sua importância como herbicida amplamente empregado.
- Identificar as principais vias de exposição humana à atrazina, incluindo exposição ocupacional, ambiental e alimentar.
- Analisar estudos científicos que investigam os efeitos toxicológicos da atrazina sobre a saúde humana.
- Discutir os possíveis impactos da contaminação ambiental por atrazina e seus metabólitos em recursos hídricos.
- Reunir e sistematizar evidências científicas sobre os potenciais riscos associados à exposição a esse herbicida.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma revisão de literatura de caráter qualitativo e descritivo, com o objetivo de reunir e analisar estudos científicos sobre os impactos toxicológicos da atrazina e seus potenciais riscos à saúde humana.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados científicas amplamente utilizadas na área acadêmica, como Google Acadêmico, PubMed e SciELO, utilizando artigos científicos, livros, relatórios técnicos e documentos institucionais relacionados ao tema. Para a seleção dos

materiais, foram utilizados descritores em português e inglês, tais como: *atrazina*, *herbicidas*, *toxicidade da atrazina*, *exposição a agrotóxicos*, *atrazine toxicity* e *human health effects*.

Foram incluídos estudos publicados no período de 2015 a 2026, priorizando artigos que abordassem a presença da atrazina no ambiente, suas formas de exposição e seus possíveis efeitos toxicológicos em humanos. Também foram considerados trabalhos clássicos relevantes para a compreensão do tema. Foram excluídos estudos que não apresentavam relação direta com os efeitos toxicológicos da atrazina ou que não possuíam fundamentação científica adequada.

Após a seleção do material, foi realizada a leitura crítica dos estudos escolhidos, avaliando a clareza dos objetivos, a adequação dos métodos e a relevância dos resultados para o tema. Foram priorizados estudos publicados em periódicos com que antes de serem publicados passaram pela avaliação de outros pesquisadores especialistas na área, garantindo maior confiabilidade científica ao conteúdo selecionado. Foram excluídos trabalhos sem relação direta com os efeitos toxicológicos da atrazina, sem descrição adequada da metodologia empregada ou que não apresentavam fundamentação científica consistente. Dessa forma, buscou-se reunir evidências científicas que contribuam para a compreensão dos possíveis impactos da atrazina na saúde humana.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

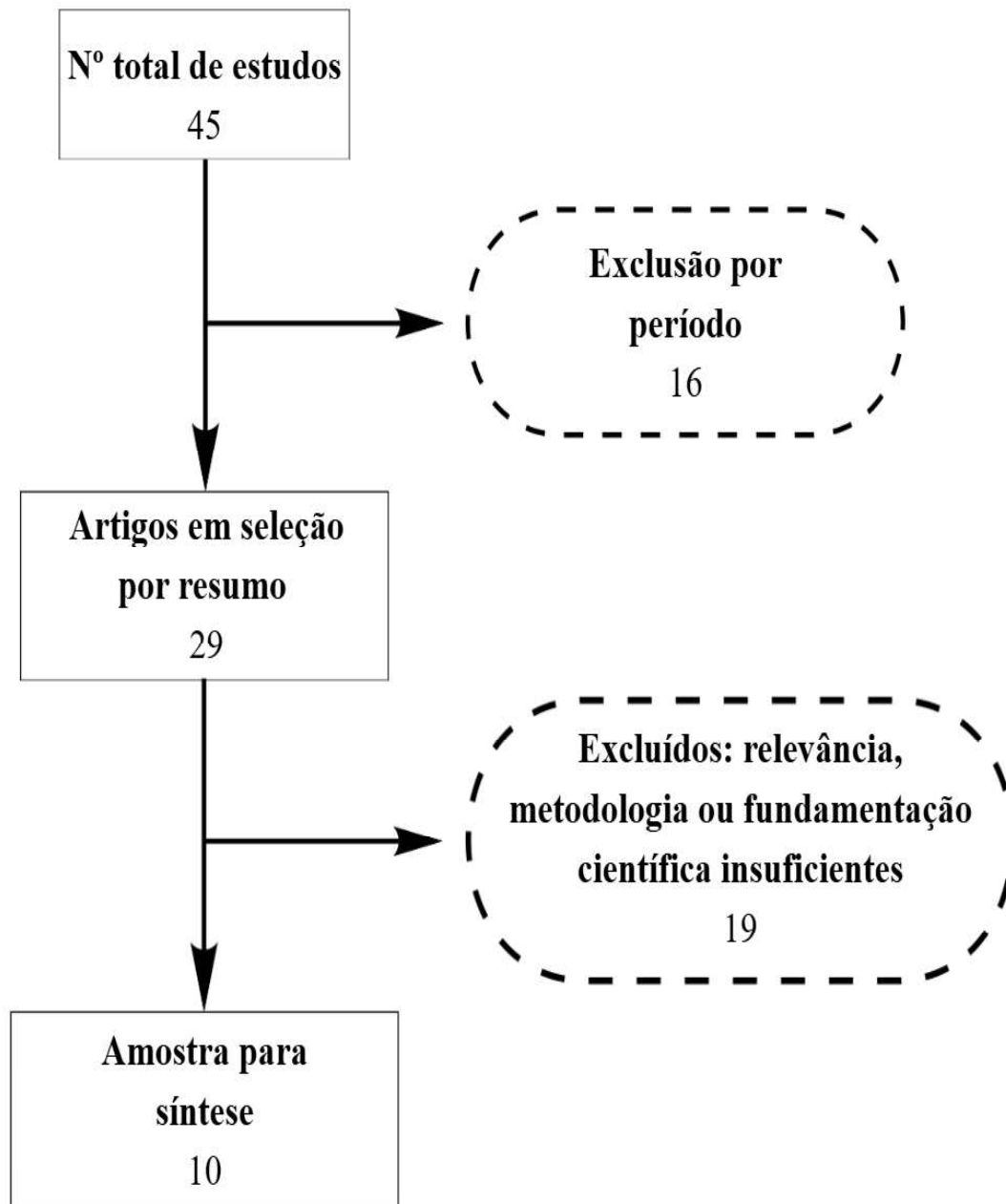
A literatura científica disponível indica associações entre a exposição à atrazina e efeitos adversos em diferentes sistemas fisiológicos, com evidências provenientes predominantemente de modelos animais e, em menor proporção, de estudos epidemiológicos em humanos.

Inicialmente, foram identificados 45 estudos relacionados ao tema. Durante a etapa de seleção, observou-se que a adoção de um recorte temporal restrito aos últimos 10 anos resultava em um número limitado de publicações. Dessa forma, optou-se pela ampliação do período de busca, permitindo a inclusão de estudos adicionais e totalizando 29 artigos potencialmente elegíveis para análise.

Após a leitura completa dos artigos selecionados, foram excluídos 19 artigos que não apresentavam relação direta com os efeitos toxicológicos da atrazina, bem como estudos com metodologia inadequada ou fundamentação científica insuficiente para os objetivos desta revisão. Ao final do processo de seleção, 10 estudos compuseram a amostra final utilizada na síntese dos resultados.

Para facilitar a análise e discussão dos achados, os estudos foram organizados em quatro eixos temáticos: neurotoxicidade, desregulação endócrina e saúde reprodutiva, síndromes metabólicas e carcinogenicidade.

Figura 3 – Fluxograma mostrando as etapas de escolha dos artigos utilizados nesta revisão.



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Tabela 1 – Síntese dos estudos incluídos na revisão sobre os efeitos toxicológicos da atrazina à saúde humana.

AUTOR/ANO	MODELO DE ESTUDO	EIXO TEMÁTICO	PRINCIPAIS ACHADOS
Anselmo (2020)	In vivo – ratos Wistar machos	Neurotoxicidade / Saúde reprodutiva	Efeito ansiogênico; alterações dopaminérgicas no córtex pré-frontal e hipocampo; desregulação do ciclo menstrual e nascimentos prematuros em populações expostas
Pantaleon (2021)	In vivo – ratos machos	Neurotoxicidade / Saúde reprodutiva	Alterações nos sistemas dopaminérgico, serotoninérgico e noradrenérgico; prejuízos no comportamento sexual; aumento de peso corporal e alterações em órgãos como rins e fígado
Acevedo-Huergo et al. (2024)	In vivo – ratas Sprague-Dawley fêmeas	Neurotoxicidade	Hipoatividade locomotora; alterações nos níveis de dopamina, GABA e glutamato nos gânglios da base
Stradtman & Freeman (2021)	Revisão de literatura	Neurotoxicidade	Efeitos neurotóxicos via eixos HPG e HPA; mecanismos de toxicidade ainda não totalmente elucidados
Pedrozo et al. (2024)	Revisão de literatura	Desregulação endócrina / Saúde reprodutiva masculina	Redução de testosterona e LDH; alterações morfológicas nas gônadas; prejuízos na qualidade espermática
Zhu S et al. (2021)	Meta-análise – ratos e camundongos	Desregulação endócrina / Saúde reprodutiva masculina	Redução significativa de testosterona e do peso testicular; confirmação do potencial tóxico no sistema reprodutor masculino
Wirbisky & Freeman (2015)	Revisão de literatura	Desregulação endócrina / Saúde reprodutiva feminina	Supressão do pico de LH; comprometimento da foliculogênese; interferência na fertilidade feminina via eixo HPG
Harper et al. (2020)	In vivo – camundongos machos	Síndromes metabólicas	Comprometimento da função hepática; redução da concentração espermática; efeitos multigeracionais
Cattley et al. (2026)	Revisão / Classificação IARC	Carcinogenicidade	Reclassificação da atrazina como provavelmente carcinogênica (Grupo 2A); mecanismos via desregulação endócrina, estresse oxidativo e modulação gênica
Remigio et al. (2024)	Estudo epidemiológico – 53.562 aplicadores de pesticidas (EUA)	Carcinogenicidade	Associação com câncer de pulmão e próstata agressivo; sugestão de associação com cânceres de faringe, rim e sarcomas em análises com defasagem de 25 anos

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

4.1. Neurotoxicidade

Estudos em modelos animais indicam que a exposição à atrazina está associada a alterações neurocomportamentais. Segundo Anselmo (2020), a exposição subcrônica ao herbicida (100 mg/kg) por via oral durante 28 dias promoveu alterações comportamentais associadas à ansiedade em ratos Wistar machos, evidenciadas pela redução da frequência de empenamento e pelo aumento da proporção de entradas nos braços fechados do labirinto em cruz elevado, indicando possível efeito ansiogênico. A atividade locomotora dos animais, no entanto, não foi significativamente alterada. Verificou-se também que a exposição promoveu alterações no sistema dopaminérgico, especialmente nas regiões do córtex pré-frontal e hipocampo, áreas relacionadas ao controle do comportamento emocional e cognitivo (ANSELMO, 2020).

Corroborando esses achados, Pantaleon (2021) demonstrou que a exposição à atrazina durante a puberdade em modelos animais está associada a alterações duradouras na vida adulta, incluindo modificações nos sistemas dopaminérgico, serotoninérgico e noradrenérgico em diferentes regiões cerebrais. Acevedo-Huergo et al. (2024) ampliaram esse entendimento ao avaliar os efeitos da atrazina especificamente em fêmeas, demonstrando hipoatividade locomotora e alterações neuroquímicas nos gânglios da base, incluindo aumento nos níveis de dopamina no núcleo accumbens e no mesencéfalo ventral e aumento de serotonina mesencéfalo ventral, sem alterações significativas nos sistemas GABAérgico e glutamatérgico, sugerindo que os efeitos neurotóxicos da atrazina em fêmeas são o alvo primário da exposição via sistema monoaminérgico. Stradtman e Freeman (2021) reforçam que esses efeitos decorrem de uma rede complexa de vias interconectadas, envolvendo tanto o eixo HPG quanto o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HPA), cujos mecanismos precisos ainda necessitam de maior investigação. Os estudos disponíveis, contudo, utilizam predominantemente doses superiores às encontradas em condições ambientais reais, o que limita a extrapolação direta para cenários de exposição humana.

4.2. Desregulação endócrina e saúde reprodutiva

A atrazina tem sido amplamente descrita como um disruptor endócrino capaz de interferir no eixo hipotálamo-hipófise-gonadal. De acordo com Pedrozo et al. (2024), a exposição ao herbicida está associada à redução dos níveis de testosterona e à diminuição da atividade de enzimas essenciais à espermatogênese, como a lactato desidrogenase (LDH), sugerindo impacto direto nos processos de fertilidade masculina. Além disso, foram descritas alterações

morfológicas nas gônadas e prejuízos na qualidade dos espermatozoides, indicando que os efeitos da atrazina não se restringem ao nível hormonal, mas envolvem danos estruturais ao sistema reprodutor. Esses achados são corroborados por uma meta-análise conduzida por Zhu S et al. (2021), que demonstrou associação significativa entre a exposição à atrazina e a redução da produção de testosterona e do peso absoluto dos testículos e demais órgãos reprodutores em modelos experimentais.

Em fêmeas, Wirbisky e Freeman (2015) descrevem que a atrazina suprime o pico de LH necessário para a ovulação e interfere na foliculogênese, comprometendo a fertilidade por meio de mecanismos que atuam diretamente sobre o eixo HPG. Estudos epidemiológicos reforçam essas evidências, indicando associações com desregulação do ciclo menstrual e relatos de nascimentos prematuros em comunidades que consumiam água contaminada com o herbicida (ANSELMO, 2020). A maior parte das evidências, porém, deriva de estudos experimentais, e ainda há lacunas quanto à dose-resposta e ao tempo de exposição necessários para a manifestação desses efeitos em humanos, evidenciando a necessidade de investigações epidemiológicas mais robustas.

Pantaleon (2021) acrescenta que a exposição durante a puberdade está associada a prejuízos no comportamento sexual na vida adulta, como aumento na latência para a ereção peniana e redução no desempenho sexual, reforçando que os efeitos da atrazina abrangem não apenas aspectos hormonais, mas também neurológicos da reprodução. Foram observadas ainda alterações metabólicas sistêmicas, como aumento do peso corporal e mudanças no peso relativo de órgãos como rins e fígado, evidenciando a atuação multifatorial do herbicida no organismo.

4.3. *Síndromes metabólicas*

Harper, Finger e Green (2020) avaliaram os efeitos da exposição crônica à atrazina em camundongos machos expostos desde o período pré-natal até 12 ou 26 semanas de idade. Em relação ao metabolismo hepático, os animais expostos apresentaram redução significativa no peso relativo do fígado às 12 semanas, sem alterações no peso corporal ou no consumo de alimentos e água. Paralelamente, foi observado aumento na expressão de genes envolvidos na captação hepática de lipídios e ácidos graxos, sugerindo que a atrazina perturba a homeostase lipídica no fígado mesmo na ausência de alterações histológicas evidentes de esteatose. Aos 26 semanas, esses efeitos foram menos pronunciados, possivelmente porque os efeitos do envelhecimento mascararam as alterações induzidas pelo herbicida. Os autores discutem que a

disfunção mitocondrial, por meio da interferência nos complexos I e III da cadeia respiratória, pode ser o mecanismo subjacente às alterações metabólicas observadas, com aumento de espécies reativas de oxigênio e comprometimento do desenvolvimento orgânico em períodos críticos. Em conjunto, os resultados indicam que a exposição à atrazina iniciada na vida pré-natal é capaz de comprometer o metabolismo lipídico hepático e a função reprodutiva em fases precoces da vida adulta, com potenciais implicações para o desenvolvimento de doenças metabólicas crônicas (HARPER; FINGER; GREEN, 2020).

4.4. Carcinogenicidade

Cattley et al. (2026) analisaram evidências científicas relacionadas ao potencial carcinogênico da atrazina, destacando que o herbicida pode interferir em processos de proliferação celular e diferenciação tecidual por meio da desregulação hormonal, do estresse oxidativo, da inflamação e da modulação da expressão gênica, mecanismos frequentemente associados ao desenvolvimento de neoplasias. Em atualização do Agricultural Health Study, Remigio et al. (2024) avaliaram mais de 53 mil aplicadores de pesticidas nos Estados Unidos e identificaram associações estatisticamente significativas entre o uso de atrazina e maior risco de câncer de pulmão, além de sugestões de associação com câncer de próstata agressivo em indivíduos diagnosticados antes dos 60 anos. Exposições ocorridas 25 anos antes do diagnóstico também foram associadas a cânceres de faringe, rim e sarcomas de tecidos moles.

A reclassificação da atrazina para o Grupo 2A pela International Agency for Research on Cancer (IARC), categoria que designa substâncias "provavelmente carcinogênicas para humanos", constitui um marco relevante na avaliação toxicológica desse herbicida. Tal classificação fundamenta-se na convergência de três ordens de evidências: evidências limitadas em humanos, evidências suficientes em modelos animais experimentais e evidências mecanísticas robustas, envolvendo processos como estresse oxidativo, modificações epigenéticas e desregulação do sistema endócrino. Cabe ressaltar que a designação do Grupo 2A não implica estabelecimento de causalidade definitiva para os níveis de exposição ambiental habitualmente observados; contudo, ela confere respaldo científico à necessidade de intensificação da vigilância epidemiológica, do monitoramento ambiental sistemático e da reavaliação periódica dos limites regulatórios de exposição à atrazina (CATTLEY et al., 2026).

Apesar dos avanços, os dados epidemiológicos disponíveis ainda apresentam heterogeneidade metodológica, o que dificulta o estabelecimento de relação causal definitiva

entre a exposição à atrazina e a ocorrência de câncer em humanos, reforçando a necessidade de investigações adicionais que considerem diferentes níveis de exposição, tempo de contato e fatores de suscetibilidade individual.

5. CONCLUSÃO

A presente revisão evidencia que a atrazina representa um risco toxicológico multissistêmico relevante à saúde humana, com efeitos documentados sobre os sistemas neurocomportamental, endócrino, reprodutivo, metabólico e com crescentes evidências de potencial carcinogênico. Os dez estudos analisados, organizados em quatro eixos temáticos, demonstram que o herbicida atua por mecanismos variados e frequentemente interligados, incluindo a desregulação do eixo hipotálamo-hipófise-gonadal, a indução de estresse oxidativo, a disfunção mitocondrial e a interferência na expressão gênica, processos que, em conjunto, podem contribuir para o desenvolvimento de doenças crônicas complexas.

Entretanto, é necessário reconhecer as limitações da literatura disponível. A maioria dos estudos foi conduzida em modelos animais com doses superiores às encontradas em condições ambientais reais, o que restringe a extrapolação direta para a exposição humana cotidiana. Há ainda carência de estudos que avaliem os efeitos da atrazina especificamente no tecido cerebral humano, bem como lacunas quanto aos mecanismos de dose-resposta em exposições crônicas de baixa intensidade. A heterogeneidade metodológica entre os trabalhos dificulta comparações diretas e compromete a consolidação de conclusões causais robustas, reforçando a necessidade de investigações epidemiológicas mais rigorosas e padronizadas. Diante das evidências reunidas, conclui-se que, embora a relação causal entre exposição à atrazina e danos à saúde humana ainda careça de maior consolidação científica, os achados podem corroborar com o controle e fiscalização do uso desse herbicida, especialmente no Brasil, onde sua utilização permanece permitida e difundida em larga escala. A sistematização dessas evidências reforça a urgência de um debate mais informado sobre a segurança do uso da atrazina e sobre a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e protetoras da saúde pública.

6. REFERÊNCIAS

ACEVEDO-HUERGO, Triana et al. Hypoactivity and neurochemical alterations in the basal ganglia of female Sprague-Dawley rats after repeated exposure to atrazine. *Frontiers in Toxicology*, v. 6, 2024. DOI: 10.3389/ftox.2024.1416708.

ANDRETTA, Alessandra. Análise da fitotoxicidade da atrazina após biodegradação fúngica. 2022. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biotecnologia) – Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/server/api/core/bitstreams/e6f74a74-e8a0-4d12-ad1b-0cda3574d5e1/content>. Acesso em: 26 abr. 2026.

ANSELMO, Fábio. Estudo experimental dos efeitos da exposição repetida ao herbicida atrazina sobre a atividade neurocomportamental, biomarcadores do estresse oxidativo e sistema dopaminérgico. [S.l.]: Universidade Estadual Paulista (Unesp), 20 fev. 2020.

CATTLEY, R. C. et al. Carcinogenicity of atrazine, alachlor, and vinclozolin. *The Lancet Oncology*, Londres, v. 27, n. 1, p. 11-12, jan. 2026. Publicado online em 21 nov. 2025. DOI: 10.1016/S1470-2045(25)00702-8.

FONTES, J. B. et al. "Relações Entre a Exposição a Agrotóxicos E O Desenvolvimento Do Câncer: Revisão Sistemática." *Revista Saúde Dinâmica*, vol. 9, n. 3, 2021. DOI: 10.4322/2675-133X.2022.040.

HARPER, Alesia P.; FINGER, Bethany J.; GREEN, Mark P. Chronic atrazine exposure beginning prenatally impacts liver function and sperm concentration with multi-generational consequences in mice. *Frontiers in Endocrinology*, v. 11, p. 580124, 2020. DOI: 10.3389/fendo.2020.580124.

Instituto Nacional de Câncer. Agrotóxico. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxico>. Acesso em: 12. jan 2026.

PANTALEON, Lorena de Paula. Influência da exposição à atrazina durante a puberdade na esfera sexual de ratos adultos. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.10.2021.tde-14032022-145914>.

PEDROZO, Aniely Loiza et al. Atrazina como desregulador endócrino e seus efeitos na saúde reprodutiva

masculina. Revista ARACÊ, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/arev6n2-099>

PINTO, M. B. et al. Atrazina no Brasil: avaliação do uso e da ocorrência na água de consumo humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 33., 2024. Anais [...]. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/33cbesa/370_tema_i.pdf. Acesso em 27 Jan 2026.

REMIGIO, Richard V. et al. An updated evaluation of atrazine-cancer incidence associations among pesticide applicators in the Agricultural Health Study cohort. *Environmental Health Perspectives*, v. 132, n. 2, p. 027010, 2024. DOI: 10.1289/EHP13684.

RÓDIO, G. R.; ROSSET, I. G.; BRANDALIZE, A. P. C. Exposição a agrotóxicos e suas consequências para a saúde humana. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17526.

RODRIGUEZ-CABALLERO, A. et al. Ultimate fate and possible ecological risks associated with atrazine and its principal metabolites (DIA and DEA) in soil and water environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 247, 2022. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.114232.

SANTOS, J. C.; SANTOS, M. I. G. Consequences of the use of pesticides in agriculture: a literature review. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 10, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i10.43556.

STRADTMAN, Sara C.; FREEMAN, Jennifer L. Mechanisms of neurotoxicity associated with exposure to the herbicide atrazine. *Toxics*, v. 9, n. 9, p. 207, 2021. DOI: 10.3390/toxics9090207.

TELEKEN, J. L. Efeitos metabólicos e toxicidade dos pesticidas atrazina e glifosato in vivo e in vitro. 2025. Tese (Doutorado em Biociências e Saúde) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2025. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/7803/2/Jakeline%20Liana%20Teleken.pdf>. Acesso em 24 Jan 2026.

WIRBISKY, Sara E.; FREEMAN, Jennifer L. Atrazine exposure and reproductive dysfunction through the hypothalamus-pituitary-gonadal (HPG) axis. *Toxics*, v. 3, n. 4, p. 414–450, 2015. DOI: 10.3390/toxics3040414.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Atrazine and its metabolites in drinking-water: background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. Geneva: WHO, 2011. Disponível em: <https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/atrazine->

background-document.pdf. Acesso em 20 Jan 2026.

ZHANG, Yalei et al. Residual characteristics of atrazine and its metabolites in the Liaoning Province of China. *Separations*, v. 9, n. 12, p. 397, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2297-8739/9/12/397>.

Acesso em: 26 abr. 2026.

Zhu S, Zhang T, Wang Y, Zhou X, Wang S, Wang Z. Meta-analysis and experimental validation identified atrazine as a toxicant in the male reproductive system. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021 Jul;28(28):37482-37497. doi: 10.1007/s11356-021-13396-6. Epub 2021 Mar 13. PMID: 33715114.