UNIVERSIDADE DE SOROCABA

PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO: TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Nubya Camylle Almeida Martins

CLORPIRIFÓS EM ALIMENTOS NO BRASIL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE LIMITES DE RESÍDUOS, TOXICIDADE E REGULAÇÃO NACIONAL

Sorocaba / SP

2025

Nubya Camylle Almeida Martins

CLORPIRIFÓS EM ALIMENTOS NO BRASIL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE LIMITES DE RESÍDUOS, TOXICIDADE E REGULAÇÃO NACIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade de Sorocaba.

Orientadora: Prof. Dra. Thais Jardim Oliveira

Sorocaba / SP

2025

Nubya Camylle Almeida Martins

CLORPIRIFÓS EM ALIMENTOS NO BRASIL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE LIMITES DE RESÍDUOS, TOXICIDADE E REGULAÇÃO NACIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

_____

Profa. Dra. Thais Jardim Oliveira
Universidade de Sorocaba

_____

Prof. Dr. Lorenzo Pissinatti
Universidade de Sorocaba

_____

Prof. Me. Jocimar de Souza
Universidade de Sorocaba

RESUMO

O clorpirifós é um inseticida organofosforado amplamente utilizado na agricultura e na pecuária brasileiras. No entanto, resíduos desse composto em alimentos de origem vegetal e animal, como carne, leite, ovos e inclusive no solo, representam riscos relevantes à saúde humana devido ao seu potencial tóxico, especialmente por sua ação inibidora da enzima acetilcolinesterase. Este trabalho apresenta uma revisão integrativa da literatura nacional, abordando os principais métodos analíticos utilizados na detecção de resíduos de clorpirifós em alimentos, assim como seus efeitos tóxicos. Técnicas como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e cromatografia gasosa (GC), frequentemente associadas à espectrometria de massas, destacam-se pela sensibilidade e confiabilidade. Além disso, o estudo inclui uma análise do interesse público pelo tema com base em dados do Google Trends. Os resultados evidenciam a presença recorrente de resíduos acima dos limites máximos permitidos, bem como falhas na fiscalização e desafios no controle regulatório. A pesquisa reforça a importância do monitoramento contínuo e do desenvolvimento de métodos acessíveis para garantir a segurança alimentar e a saúde pública.

Palavras-chave: Clorpirifós; resíduos de agrotóxicos; acetilcolinesterase; toxicidade; segurança alimentar.

ABSTRACT

Chlorpyrifos is an organophosphate insecticide widely used in Brazilian agriculture and livestock. However, residues of this compound in food of plant and animal origin—such as meat, milk, and eggs—pose significant risks to human health due to its toxic potential, especially its ability to inhibit the enzyme acetylcholinesterase. This study presents a systematic review of Brazilian scientific literature, focusing on the main analytical methods used to detect chlorpyrifos residues in food, as well as the toxicological effects associated with exposure. Techniques such as high-performance liquid chromatography (HPLC) and gas chromatography (GC), often coupled with mass spectrometry, are highlighted for their sensitivity and accuracy. In addition, this work includes a trend analysis of public interest in the topic using data from Google Trends. The results reveal frequent detection of residues above regulatory limits, alongside shortcomings in oversight and enforcement. The study reinforces the need for continuous monitoring and the development of accessible analytical tools to ensure food safety and public health.

Keywords: Chlorpyrifos; pesticide residues; acetylcholinesterase; toxicity; food safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Estrutura Química do Clorpirifós 11

Figura 2- Esquema comparativo do funcionamento normal da sinapse e do bloqueio enzimático causado por organofosforados. 13

Figura 3- Limites Máximos de Resíduos (LMR), intervalos de segurança e modalidade de emprego do clorpirifós por cultura agrícola..... 15

Figura 4- Consumo mundial de defensivos agrícolas em 2000 16

Figura 5- Rotas de Degradação do Clorpirifós 18

Figura 6- Curva de Degradação do Clorpirifós em três tipos de Solo..... 20

Figura 7- Vias Metabólicas do Clorpirifós 22

Figura 8- EPIs Indispensáveis 27

Figura 9- Critérios de Inclusão e Exclusão 32

Figura 10- Tendência de busca pelo termo “organofosforados” no Brasil (2010–2025) 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Diferenças entre Clorpirifós e Clorpirifós-Oxon..... 23

Tabela 2- Principais estudos sobre resíduos de clorpirifós em alimentos selecionados na revisão 34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11

2.1 Organofosforados 11

2.1.1 Mecanismo de ação 12

2.1.2 Limites Máximos de Resíduos (LMRs) de Organofosforados 14

2.1.3 Monitoramento de Resíduos pelo Programa PARA 17

2.1.4 Impactos Ambientais do Clorpirifós 18

2.1.4.1 Caminhos Metabólicos do Clorpirifós 21

2.1.5 Índices de Intoxicação Alimentar e Ocupacional 24

2.1.5.1 Exposição Ocupacional e Saúde de Trabalhadores 26

2.1.6 Comparativo das Regulamentações Internacionais 28

2.1.6.1 União Europeia 28

2.1.6.2 Estados Unidos 28

2.6.1.3 Brasil 28

2.6.1.4 América Latina 29

3 OBJETIVOS 30

3.1 Objetivo geral 30

3.2 Objetivos Específicos 30

4 MATERIAL E METODOS 31

4.1 Critérios de inclusão e exclusão 32

4.2 Análise de Tendência Pública (Google Trends) 33

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 34

6 CONCLUSÃO 43

REFERÊNCIAS 44

1 INTRODUÇÃO

O modelo agroindustrial brasileiro sustenta-se, há décadas, na intensiva aplicação de agrotóxicos como ferramenta central para o controle de pragas e o aumento da produtividade. Entre esses compostos, o clorpirifós — um inseticida organofosforado — destaca-se tanto por sua eficácia quanto pelas controvérsias que o cercam. Aplicado em culturas de alto valor econômico como algodão, batata, café, citros, feijão, milho, soja e tomate (NORTOX S.A., 2021), esse composto químico, identificado como O,O-dietil-O-(3,5,6-tricloro-2-piridinil) fosforotionato (ANVISA, 2021), tornou-se símbolo de um paradoxo regulatório: ao mesmo tempo em que promove controle eficiente de pragas, acumula evidências científicas que comprovam seus danos à saúde humana e ao meio ambiente (ASCENZA AGRO S.A., 2023).

A via primária de toxicidade do clorpirifós está na inibição da enzima acetilcolinesterase, responsável pela regulação dos impulsos nervosos. Essa interferência bioquímica pode desencadear efeitos neurotóxicos, reprodutivos e genotóxicos, atingindo tanto o sistema nervoso central quanto o periférico. Tais efeitos não são apenas teóricos: foram identificados resíduos tóxicos do composto em alimentos de origem vegetal e animal, como o leite bovino (LAGUNA; ANANIAS, 2023). Apesar disso, o Brasil mantém o clorpirifós como um dos cinco agrotóxicos mais utilizados no país, com mais de 6 mil toneladas comercializadas apenas em 2017. Sua aplicação continua predominante em cultivos de soja, milho e algodão, onde combate pragas como a lagarta-do-cartucho e o pulgão-do-algodoeiro (SILVA et al., 2019).

Enquanto a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) conduz uma reavaliação toxicológica do clorpirifós à luz de novas evidências científicas — sobretudo aquelas ligadas à mutagenicidade e à neurotoxicidade durante o desenvolvimento infantil (ANVISA, 2021) — diversos países vêm tomando medidas muito mais incisivas. Nos Estados Unidos, por exemplo, o produto foi proibido em 2021 após estudos como o de Rauh et al. (2012) revelarem alterações cerebrais e comprometimento do desempenho cognitivo em crianças expostas durante a gestação. A União Europeia seguiu caminho semelhante, e vários países latino-

americanos também impuseram restrições ou proibições totais à sua comercialização (FUNDECITRUS, 2020).

O Brasil, no entanto, mantém-se na contramão desse movimento internacional, permitindo não apenas o uso contínuo do clorpirifós, mas também tolerando resíduos acima dos limites permitidos em alimentos consumidos diariamente pela população (SILVA, 2015). Uma investigação regional conduzida em países da América Latina revelou que 8,4% das 724 amostras de alimentos analisadas estavam contaminadas com pesticidas em níveis superiores aos limites legais, sendo o clorpirifós um dos três compostos mais frequentemente detectados (GABOARDI, 2022). A partir desses dados, evidencia-se um cenário preocupante, mesmo com conhecimento técnico acumulado, metodologias de detecção eficazes e alertas sucessivos da comunidade científica, o composto continua circulando livremente no sistema produtivo e alimentar brasileiro.

A persistência do clorpirifós no meio ambiente, inclusive como substituto de agrotóxicos anteriormente banidos, como o metamidofós (GURGEL, 2017), agrava ainda mais a situação. Sua resistência à degradação e sua capacidade de bioacumulação reforçam a necessidade de métodos analíticos sensíveis e atualizados, como as técnicas multirresíduo de extração e a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), que têm se mostrado eficazes na detecção do composto em alimentos como tomate e alface (SOUZA; ALMEIDA; PEREIRA, 2015). No entanto, mesmo com os avanços analíticos, a ação regulatória permanece lenta, fragmentada e, em muitos casos, complacente com interesses comerciais em detrimento da saúde pública.

Diante dessa contradição regulatória, emerge a pergunta central que orienta este trabalho: se existem evidências científicas robustas sobre os riscos toxicológicos e ambientais do clorpirifós, por que ele ainda é amplamente utilizado no Brasil — inclusive com Limites Máximos de Resíduos (LMRs) superiores aos aceitos em países com políticas mais restritivas? Essa contradição revela uma desconexão grave entre ciência e política, entre o que se sabe e o que se faz.

Assim, torna-se essencial compreender como o clorpirifós se comporta nos alimentos e quais os reais riscos associados à sua ingestão, considerando também sua persistência ambiental e sua toxicidade acumulativa. Mais do que um exercício

técnico, essa discussão demanda uma abordagem crítica, multidisciplinar e comprometida com a segurança alimentar, a saúde coletiva e a justiça ambiental. Diante desse cenário, o presente trabalho propõe uma revisão integrativa da literatura científica nacional sobre resíduos de clorpirifós em alimentos, com o objetivo de fomentar reflexões consistentes sobre o tema e oferecer subsídios para o fortalecimento das políticas públicas de regulação, monitoramento e substituição de substâncias perigosas no modelo agrícola brasileiro.

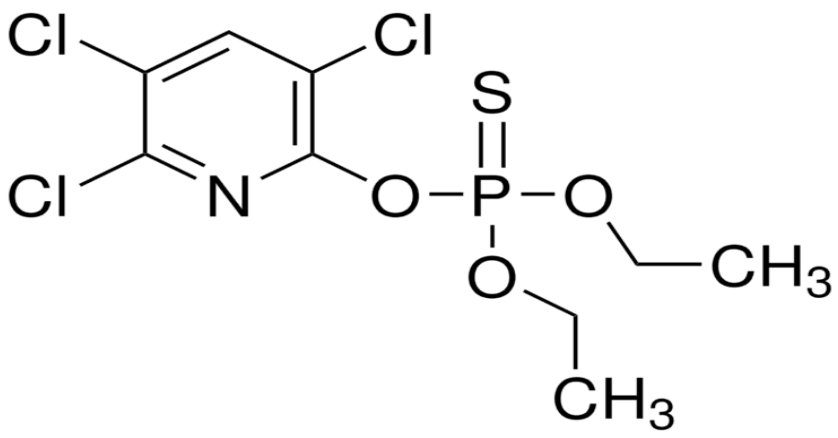
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Organofosforados

Os compostos organofosforados têm sua origem na alquimia medieval, porém, seu estudo científico iniciou-se no século XIX com Lassaigne, ao realizar a esterificação de ácido fosfórico. Posteriormente, Thinard e colaboradores prepararam derivados de fosfinas, contribuindo para o avanço da pesquisa na área. O desenvolvimento expressivo dessa classe de compostos ocorreu com os trabalhos de Michaelis e Arbuzov, consolidando a síntese e as aplicações desses compostos, especialmente após a descoberta de suas propriedades tóxicas e inseticidas por Schrader na década de 1930 (SANTOS et al., 2007).

Os organofosforados são compostos químicos definidos pela presença de um átomo de fósforo central ligado a átomos de oxigênio e a grupos orgânicos, formando ésteres de fosfato ou fosforila, conforme ilustrado na Figura 1. Sua estrutura básica consiste nesse átomo de fósforo, que se conecta a átomos de oxigênio por meio de ligações simples ou duplas, e a grupos orgânicos, que podem ser radicais alquil ou arilo, ligados ao fósforo por ligações do tipo éster. (GUERRERO; RESTREPO, 2000)

Figura 1- Estrutura Química do Clorpirifós



Fonte: Merck Supelco.

2.1.1 Mecanismo de ação

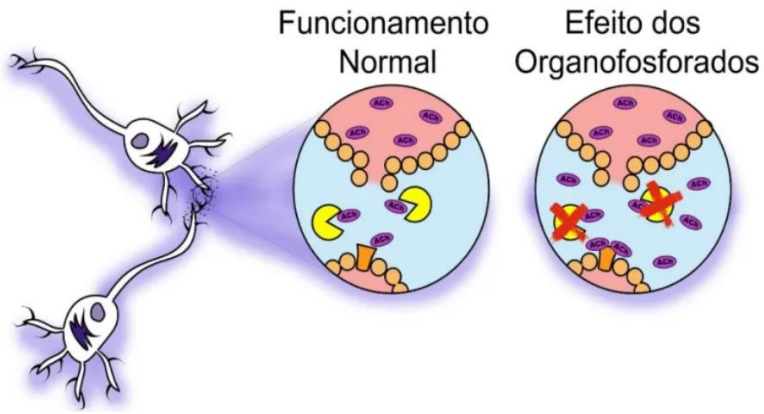
Os organofosforados atuam pela inibição da acetilcolinesterase (AChE), uma enzima essencial para a degradação da acetilcolina, neurotransmissor responsável pela comunicação entre neurônios, conforme ilustrado na Figura 2. No funcionamento normal, a acetilcolina é liberada na fenda sináptica, se liga aos receptores colinérgicos presentes na membrana pós-sináptica, promovendo a transmissão do impulso nervoso; em seguida, a acetilcolinesterase degrada rapidamente a acetilcolina, interrompendo o sinal e restaurando o equilíbrio sináptico. Na imagem, esse processo é representado à esquerda, com os neurotransmissores sendo degradados pelas enzimas (em amarelo).

Já à direita, observa-se o efeito dos organofosforados, que bloqueiam a atividade da acetilcolinesterase (representada pelos símbolos de bloqueio vermelho), impedindo a degradação da acetilcolina. Esse bloqueio resulta em acúmulo excessivo de acetilcolina na sinapse, levando à hiperestimulação dos receptores colinérgicos. Tal hiperatividade compromete a função neuromuscular, podendo desencadear paralisia muscular, dificuldades respiratórias e outras manifestações neurotóxicas graves, tanto em seres humanos quanto em insetos (SPINOSA, 2020; MSD, 2025).

O mecanismo de ação dos compostos organofosforados está intimamente relacionado à sua estrutura química. Essa configuração estrutural permite que os organofosforados se liguem covalentemente à enzima acetilcolinesterase (AChE), inibindo sua função de forma irreversível. A inibição da AChE impede a degradação da acetilcolina, resultando em seu acúmulo nas sinapses. Como consequência, ocorre a hiperestimulação dos receptores colinérgicos e o desenvolvimento de efeitos tóxicos, como paralisia e dificuldades respiratórias (MASSON & LOCKRIDGE, 2010).

A interação dos organofosforados com a acetilcolinesterase exemplifica como compostos químicos podem afetar adversamente os sistemas biológicos. Embora esses pesticidas sejam eficazes no controle de pragas, os riscos para a saúde humana e o meio ambiente são significativos. Isso torna a avaliação de seus efeitos e o controle de seu uso um tema de crescente importância na ciência (ARONIADOU-ANDERJASKA et al., 2023).

Figura 2- Esquema comparativo do funcionamento normal da sinapse e do bloqueio enzimático causado por organofosforados.



Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE ATUALIZAÇÃO PROFISSIONAL (IBAP)

2.1.2 Limites Máximos de Resíduos (LMRs) de Organofosforados

Os LMRs representam a quantidade máxima de resíduos de agrotóxicos permitida nos alimentos, estabelecida com base em estudos técnicos que visam garantir a segurança dos consumidores. Esses limites são definidos considerando a aplicação correta do agrotóxico e as boas práticas agrícolas. (ANVISA, 2023)

A regulação do uso de agrotóxicos no Brasil envolve a atuação conjunta da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). No que diz respeito às competências da Anvisa, cabe à instituição realizar a avaliação toxicológica dos ingredientes ativos, definir os Limites Máximos de Resíduos (LMRs) permitidos em alimentos e estabelecer os intervalos de segurança entre a aplicação e a colheita. Essas medidas têm como finalidade assegurar que os produtos comercializados estejam em conformidade com os padrões de segurança para o consumo humano.

O ingrediente ativo clorpirifós, pertencente à classe dos organofosforados, está sujeito a regulamentação rigorosa devido ao seu potencial neurotóxico e impactos sobre a saúde humana. Para mitigar esses riscos, a Anvisa determina os LMRs, que correspondem à quantidade máxima de resíduo do agrotóxico permitida em alimentos, com base em avaliações toxicológicas, agronômicas e das boas práticas agrícolas. Complementarmente, define-se o intervalo de segurança, que é o período mínimo exigido entre a última aplicação do produto e a colheita da cultura, permitindo que o resíduo se degrade até níveis seguros antes do consumo. A, por sua vez, refere-se à forma como o produto é aplicado, sendo, no caso do clorpirifós, predominantemente por pulverização foliar (ANVISA, 2025).

A figura a seguir (Fig.3) apresenta os LMRs, intervalos de segurança e a modalidade de emprego definidos pela Anvisa para o clorpirifós em diversas culturas agrícolas.

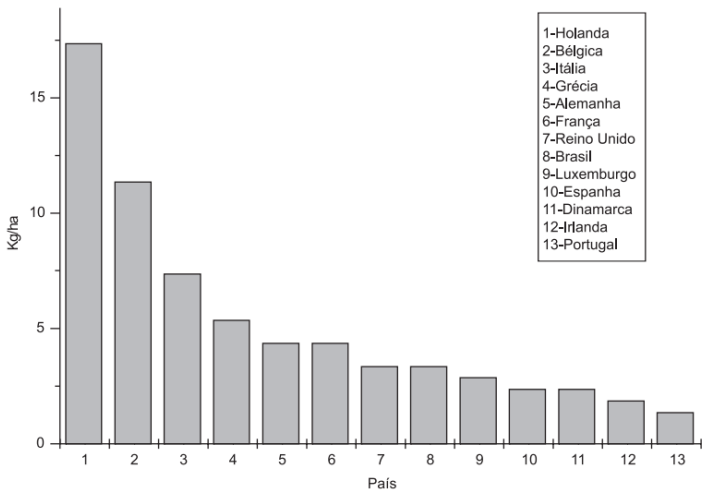
Figura 3- Limites Máximos de Resíduos (LMR), intervalos de segurança e modalidade de emprego do clorpirifós por cultura agrícola.

Culturas	Modalidade de Emprego (Aplicação)	LMR (mg/kg)	Intervalo de Segurança
Algodão	Foliar	0,5	21 dias
Amendoim[1]	Foliar	0,1	25 dias
Aveia[1]	Foliar	0,2	21 dias
Banana	Localizada	0,01	7 dias
Batata	Foliar	1,0	21 dias
	Solo		(1)
Café	Foliar	0,15	21 dias
Centeio[1]	Foliar	0,2	21 dias
Cevada	Foliar	0,1	14 dias
Citros	Foliar	2	21 dias
Ervilha[1]	Foliar	0,1	25 dias
Feijão	Foliar	0,1	25 dias
Feijões[1,2]	Foliar	0,1	25 dias
Grão-de-bico[1]	Foliar	0,1	25 dias
Lentilha[1]	Foliar	0,1	25 dias
Maçã	Foliar	1,0	14 dias
Milheto[1]	Foliar	0,1	21 dias
Milho	Foliar	0,1	21 dias
	Solo		(1)
Pastagem	Foliar	5	13 dias
Soja	Foliar	0,01	21 dias
Sorgo	Foliar	0,07	21 dias
Tomate**	Foliar	0,5	21 dias
Trigo	Foliar	0,2	21 dias
Trigo-mourisco*	Foliar	0,1	25 dias
Triticale[1]	Foliar	0,2	21 dias

Fonte: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2025).

O gráfico apresentado na Figura 4 ilustra o consumo mundial de defensivos agrícolas em 2000, destacando a liderança dos países europeus, como Holanda, Bélgica e Itália, no uso desses compostos, com destaque também para o Brasil ocupando a oitava posição no ranking mundial. Conforme Santos et al. (2007), esses dados refletem não apenas a elevada dependência da agricultura intensiva ao uso de pesticidas, mas também as características socioeconômicas e produtivas de cada região. O estudo ainda ressalta que, apesar das preocupações crescentes com os impactos ambientais e à saúde, os organofosforados continuaram a ocupar uma posição de destaque no cenário nacional, consolidando-se como uma das classes mais utilizadas no país (SANTOS et al., 2007).

Figura 4- Consumo mundial de defensivos agrícolas em 2000



Fonte: Santos et al. (2007)

2.1.3 Monitoramento de Resíduos pelo Programa PARA

A Anvisa, além de estabelecer os parâmetros de segurança para agrotóxicos no Brasil, também coordena o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). Segundo a própria agência ANVISA, o PARA realiza coletas e análises de alimentos de origem vegetal comercializados em todo o território nacional, monitorando níveis de resíduos, incluindo o clorpirifós, e garantindo a conformidade com os LMRs estabelecidos. Em casos de não conformidade, a Anvisa adota medidas corretivas, como a suspensão de lotes e reavaliação toxicológica do produto.

As amostras são coletadas em pontos de venda ao consumidor final, como supermercados e feiras livres, abrangendo todas as regiões do país. Conforme descrito pela Anvisa, a coleta segue procedimentos operacionais padronizados, assegurando representatividade e integridade das amostras. Posteriormente, elas são enviadas a laboratórios credenciados, como os Laboratórios Centrais de Saúde Pública (Lacens), onde são analisadas por meio de métodos reconhecidos internacionalmente, destacando-se o método multirresíduos, que permite a detecção simultânea de diversos agrotóxicos em uma única amostra (ANVISA, 2024).

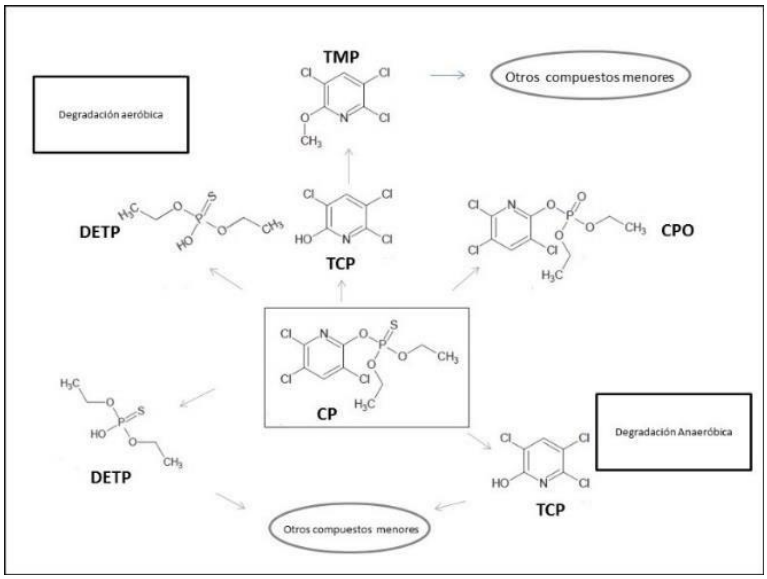
Esses resultados não apenas avaliam a conformidade dos alimentos com os LMRs, mas, conforme reforça a Anvisa, subsidiam ações de fiscalização, orientam políticas públicas e contribuem para a segurança alimentar e a promoção de boas práticas agrícolas.

2.1.4 Impactos Ambientais do Clorpirifós

A complexidade do ciclo ambiental do clorpirifós vai muito além da simples aplicação nas lavouras. O que muitas vezes se ignora — e que este trabalho busca evidenciar — é que sua degradação não implica neutralização, mas transformação em compostos igualmente perigosos. A Figura 5, de Torres, Pozo e Díaz (2021), ilustra de maneira clara e didática as principais rotas de degradação do clorpirifós no ambiente, tanto por vias abióticas quanto por processos de biodegradação.

Dentre os produtos de transformação, destaca-se a formação do clorpirifós-oxon (CPO), um metabólito resultante da oxidação do clorpirifós, com toxicidade significativamente mais elevada, especialmente em relação ao sistema nervoso central. A via oxidativa leva também à formação de compostos como o TMP (trimetilfosfato) e o TCP (3,5,6-tricloro-2-piridinol), ambos com presença comum em amostras ambientais contaminadas. A figura também evidencia subprodutos menos conhecidos, como DETP (dietiltiofosfato) e DEP (dietilfosfato), resultantes da degradação de sua cadeia fosforada. Tais compostos, mesmo em baixas concentrações, mantêm atividade biológica relevante, além de servirem como biomarcadores de exposição humana e ambiental.

Figura 5- Rotas de Degradação do Clorpirifós



Fonte: (TORRES; POZO; DÍAZ, 2021).

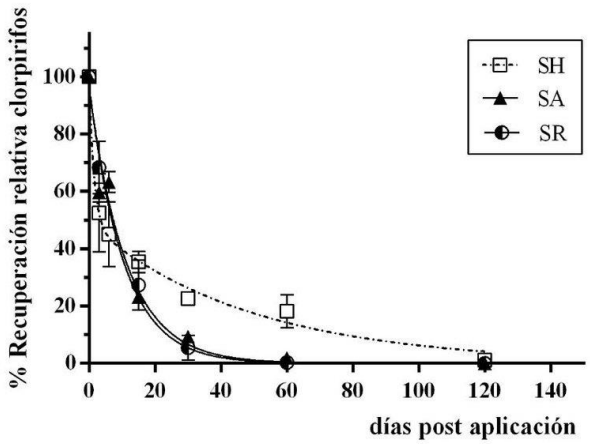
Complementando a análise ambiental, a figura 6, apresentada no estudo de Cabrera (2020) demonstra a curva de degradação do clorpirifós em três diferentes tipos de solo: solo húmico (SH), solo arenoso (SA) e solo residual (SR). Cada um desses solos possui características físico-químicas distintas que influenciam diretamente no comportamento do pesticida. O solo húmico (SH) é mais rico em matéria orgânica, tem maior capacidade de retenção de água e apresenta elevada complexidade microbiológica. Já o solo arenoso (SA) possui baixa capacidade de retenção, estrutura porosa e pouca matéria orgânica, o que o torna mais suscetível à lixiviação, que é um processo natural no qual a água dissolve e transporta nutrientes e outros elementos do solo para camadas mais profundas. O solo residual (SR), por sua vez, é uma matriz intermediária, com características físico-químicas variáveis, dependendo da formação geológica local.

De acordo com Cabrera (2020), independentemente da matriz analisada, a maior taxa de degradação ocorre nos primeiros 15 dias após a aplicação, com uma redução acentuada da recuperação relativa do composto. No entanto, observa-se que, enquanto nos solos SA e SR os resíduos de clorpirifós tornam-se praticamente indetectáveis após 30 dias, no solo húmico (SH) ainda há presença do composto até o 120º dia, evidenciando sua alta persistência em ambientes ricos em matéria orgânica.

Essa diferença, conforme destaca Cabrera (2020), está diretamente relacionada à capacidade de adsorção da matéria orgânica presente no solo húmico, que retarda a biodisponibilidade do clorpirifós para processos de degradação, sejam eles microbianos ou abióticos. Tal característica influencia não apenas o tempo de residência do pesticida no ambiente, mas também seu potencial de contaminação secundária por meio de bioacumulação ou lixiviação.

O estudo conclui que a composição físico-química do solo é um fator determinante para a degradação do clorpirifós, o que reforça a necessidade de avaliações específicas por tipo de solo nas análises de risco ambiental de pesticidas organofosforados.

Figura 6- Curva de Degradação do Clorpirifós em três tipos de Solo



Fonte: Cabrera (2020)

2.1.4.1 Caminhos Metabólicos do Clorpirifós

A Figura 6, retirada do estudo de Straus et al. (2000), resume de forma clara o metabolismo do clorpirifós em organismos vivos, destacando duas rotas principais: a desulfuração e a dearilação. Ambas ocorrem no fígado e são catalisadas por enzimas da família citocromo P450, sendo responsáveis por determinar se o composto original será transformado em uma substância mais tóxica ou mais segura.

Na via da desulfuração, o clorpirifós sofre a substituição do átomo de enxofre (P=S) por oxigênio (P=O), formando o clorpirifós-oxon — um metabólito altamente reativo e muito mais tóxico do que o composto original. Esse processo de bioativação é catalisado especialmente pela isoforma CYP2B6 do citocromo P450, como demonstrado por Hollenberg (2015). O clorpirifós-oxon tem forte afinidade pela acetilcolinesterase (AChE), cuja inibição impede a degradação da acetilcolina nas sinapses. O acúmulo desse neurotransmissor leva à hiperestimulação do sistema nervoso, resultando em sintomas como salivação excessiva, contrações musculares, dificuldade respiratória e, em casos graves, paralisia.

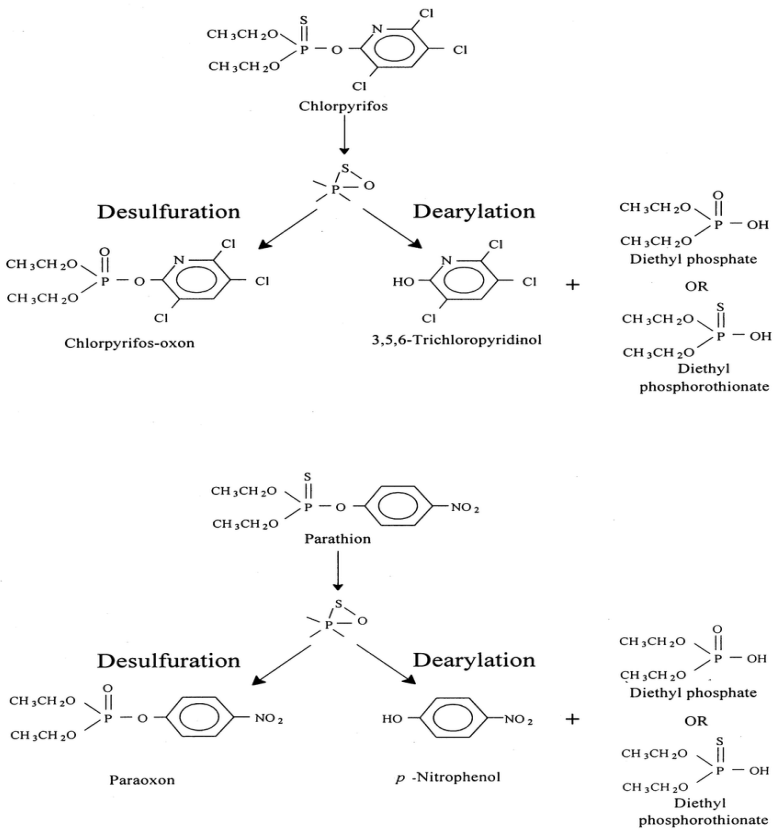
Já na via da dearilação, a molécula do clorpirifós é quebrada, resultando na formação do metabólito TCP (3,5,6-tricloro-2-piridinol) e de compostos menos reativos, como dietil fosfato. Essa é a rota considerada de detoxificação, pois resulta em substâncias com menor potencial tóxico, mais facilmente eliminadas pelo organismo (ATSDR, 1997). O equilíbrio entre essas duas rotas — ativação para o oxon e detoxificação para o TCP — é fundamental para entender a toxicidade do clorpirifós em diferentes espécies e ambientes.

Estudos como o de Ramesh et al. (2018) reforçam que a predominância de uma rota metabólica sobre a outra — desulfuração ou dearilação — não ocorre de forma aleatória, mas sim influenciada por fatores como espécie, idade, sexo, genética, nutrição e exposição prévia a outros compostos químicos. Os autores demonstram que indivíduos com maior expressão de certas isoformas do citocromo P450, por exemplo, podem metabolizar o clorpirifós mais intensamente pela via da desulfuração, resultando em maior produção do clorpirifós-oxon e, consequentemente, maior suscetibilidade à toxicidade aguda e crônica. Por outro

lado, organismos com metabolismo mais eficiente pela via da dearilação tendem a converter o composto em TCP mais rapidamente, reduzindo os riscos tóxicos. Essa variabilidade metabólica ajuda a explicar por que o mesmo pesticida pode causar efeitos leves em um organismo e graves em outro, mesmo sob a mesma dose de exposição.

O entendimento dessas rotas metabólicas é essencial não apenas para prever os efeitos do clorpirifós nos organismos expostos, mas também para estabelecer limites seguros de uso, avaliar a necessidade de restrições regulatórias e orientar estratégias de vigilância e biomonitoramento em populações vulneráveis. A Figura 7, do estudo de Straus et al. (2000), representa de forma esquemática essas duas vias metabólicas distintas e seus respectivos produtos, reforçando visualmente os conceitos discutidos.

Figura 7- Vias Metabólicas do Clorpirifós



Fonte: STRAUS, D. L. et al. (2000)

Além da representação esquemática das rotas metabólicas, é possível comparar diretamente as propriedades dos compostos antes e depois da transformação bioquímica. A Tabela 1 apresenta uma comparação entre o clorpirifós e seu principal metabólito ativo, o clorpirifós-oxon, com foco em características estruturais, toxicológicas e comportamentais. Enquanto o clorpirifós é o composto originalmente aplicado nas lavouras, sua transformação metabólica in vivo, por meio da desulfuração, resulta no clorpirifós-oxon — uma molécula mais reativa e até 3.000 vezes mais tóxica, segundo estudos como os de Amitai, G. et al. (1998) e Kousba, A. A. et al. (2004)

Tabela 1- Diferenças entre Clorpirifós e Clorpirifós-Oxon

Característica	Clorpirifós	Clorpirifós-Oxon
Grupo funcional	Fosforotioato (P=S)	Fosfato (P=O)
Atividade inibitória	Moderada sobre acetilcolinesterase	Alta afinidade e inibição irreversível
Toxicidade	Menor	Até 3.000 vezes mais tóxico
Estabilidade ambiental	Relativamente estável	Mais reativo e instável
Formação	Composto original aplicado	Metabólito formado no organismo (in vivo)

Fonte: Elaboração própria com base em ATSDR (1997), RAMESH et al. (2018) e HOLLENBERG et al. (2015).

2.1.5 Índices de Intoxicação Alimentar e Ocupacional

As intoxicações por organofosforados representam, ainda hoje, um dos principais desafios invisibilizados no campo da saúde pública brasileira. Apesar de amplamente utilizados na agricultura nacional por décadas, os impactos dessas substâncias sobre o corpo humano — especialmente em contextos de vulnerabilidade — permanecem subnotificados, subestimados e, em muitos casos, negligenciados. Os dados disponíveis nos estudos científicos apontam para um cenário alarmante, mas que ainda não encontra correspondência em políticas públicas eficazes e protetivas.

No estudo de Cavaliere et al. (1996), realizado em centros de toxicologia como Belo Horizonte, Campinas e Ribeirão Preto, observou-se que os organofosforados foram responsáveis por 34,9% das intoxicações ocupacionais, 38,1% das tentativas de suicídio e por impressionantes 44,7% dos óbitos por agrotóxicos registrados. Ainda que esse estudo tenha sido publicado há mais de duas décadas, ele ilustra um padrão persistente e preocupante de uso desregulado, acesso fácil e impacto grave. A ausência de ações efetivas que revertessem esse quadro desde então evidencia o quanto o Brasil naturalizou a presença desses venenos em seus ciclos produtivos e sociais.

Mais recentemente, Bochner (2020) analisou registros do SINAN entre 2007 e 2017 e encontrou 37.979 casos de intoxicações por agrotóxicos de uso agrícola, com predominância dos organofosforados. A taxa média nacional foi de 1,9 caso por 100 mil habitantes, número que salta para 4,0/100 mil na Região Centro-Oeste, onde predomina a agricultura intensiva. O que chama a atenção, contudo, é que tais números dificilmente refletem a realidade em sua totalidade: muitos casos não são diagnosticados corretamente, e a maior parte das intoxicações crônicas por exposição alimentar ou ambiental sequer são notificadas. O dado estatístico, por si só, já seria preocupante — mas o verdadeiro drama está justamente naquilo que os números não alcançam.

No Rio Grande do Sul, Moreira et al. (2007) estudaram a realidade de 290 agricultores e encontraram que 11% apresentavam sinais clínicos de intoxicação aguda por organofosforados, segundo critérios da OMS. Mais crítico ainda é o fato

de que 2,9% apresentavam inibição de colinesterase plasmática superior a 20%, evidência inequívoca de exposição biológica recente, mesmo em indivíduos aparentemente assintomáticos. A análise mostra que o risco não está apenas nos efeitos visíveis, mas também no que se acumula silenciosamente no organismo, passando despercebido até que seja tarde demais. A invisibilidade dessas intoxicações cotidianas — tratadas como "parte do trabalho" — é talvez o maior sinal de normalização da violação de direitos em áreas rurais.

O estudo de Gaboardi e Pignati (2019) reforça essa perspectiva ao apontar a relação direta entre a comercialização intensa de agrotóxicos e o aumento das notificações de intoxicações. Os autores destacam que a população é frequentemente exposta por meio do consumo diário de alimentos contaminados, muitas vezes dentro dos limites legais, mas que não consideram os efeitos cumulativos da exposição crônica. A exposição alimentar, ainda que silenciosa, é talvez a forma mais democrática de envenenamento: atinge todas as faixas etárias e sociais, mas impõe um fardo desproporcional aos mais pobres, que têm menos acesso a alimentos orgânicos e informações seguras.

Diante desse panorama, é urgente repensar o modelo de produção agrícola adotado no país. A manutenção do uso de organofosforados, mesmo diante de tantas evidências de seus impactos à saúde, não pode mais ser justificada por interesses econômicos ou pela retórica da "produtividade a qualquer custo". Há uma urgência ética e científica em priorizar alternativas menos danosas, investir em agricultura de base agroecológica e revisar com rigor os critérios de toxicidade, especialmente em relação à exposição alimentar. Permanecer indiferente aos números — e ao sofrimento humano que eles representam — é um erro que não pode mais ser cometido.

2.1.5.1 Exposição Ocupacional e Saúde de Trabalhadores

Segundo Fernandes et al. (2020), a exposição ocupacional ao clorpirifós representa um risco significativo para trabalhadores envolvidos na agricultura, especialmente em contextos de uso intenso de agrotóxicos no Brasil. A ausência de políticas efetivas de proteção e o uso irregular ou inexistente de equipamentos de proteção individual agravam esse cenário, resultando em intoxicações agudas, sintomas neurológicos e prejuízos à qualidade de vida dos trabalhadores rurais

De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA, 2022), as principais vias de exposição ao clorpirifós são a inalação durante a aplicação, o contato dérmico direto e a ingestão acidental. Além disso, a exposição indireta, como o contato com roupas contaminadas, também representa um risco real, atingindo inclusive familiares dos trabalhadores.

O mesmo órgão, INCA (2022), aponta que os efeitos da exposição variam conforme a intensidade e duração. Exposições agudas podem provocar náuseas, cefaleia, fraqueza muscular e distúrbios respiratórios. Já exposições crônicas estão associadas a alterações hormonais, infertilidade, distúrbios neurológicos e possíveis efeitos cancerígenos, o que justifica a crescente preocupação de instituições de saúde pública.

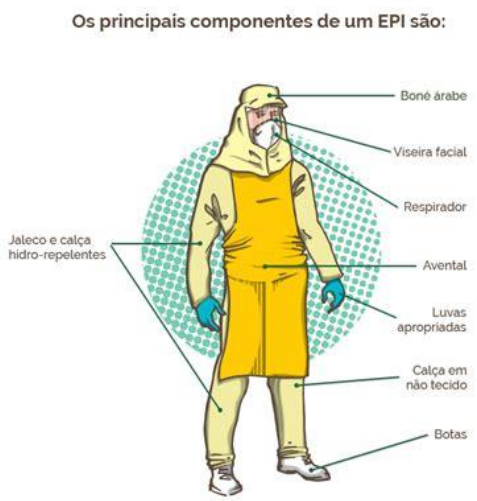
Nogueira et al. (2024) realizaram uma revisão integrativa da literatura científica publicada entre 2010 e 2023, analisando 29 estudos nacionais e internacionais sobre a exposição ocupacional a agrotóxicos organofosforados, com destaque para o clorpirifós. A pesquisa evidenciou uma associação consistente entre a exposição prolongada a esses compostos e o aumento da incidência de doenças hematológicas, especialmente leucemias mieloides e linfomas não-Hodgkin. Os autores destacam que trabalhadores rurais, em especial aqueles sem acesso a Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), apresentaram maior vulnerabilidade. A revisão também apontou que muitos dos estudos analisados utilizaram níveis plasmáticos de colinesterase como marcador biológico, confirmando que a inibição persistente dessa enzima é um indicador precoce de exposição tóxica, mesmo em fases assintomáticas.

No Brasil, a Norma Regulamentadora nº 31 (BRASIL, 2024) estabelece as diretrizes de segurança para o uso de agrotóxicos nas atividades rurais, exigindo o fornecimento de EPIs, o treinamento dos trabalhadores e medidas de controle coletivo. No entanto, estudos mostram que o cumprimento dessa norma ainda é inconsistente, especialmente em pequenos estabelecimentos familiares.

Segundo o Dossiê da Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO, 2024), há fortes indícios de que a exposição ocupacional ao clorpirifós esteja relacionada a distúrbios da saúde reprodutiva, como aborto espontâneo, más-formações fetais e alterações nos níveis hormonais de trabalhadores e trabalhadoras. Esses achados reforçam a urgência de ações integradas entre saúde pública, vigilância e direitos trabalhistas.

A implementação de medidas preventivas é essencial para mitigar os riscos da exposição ocupacional ao clorpirifós. Entre essas medidas, o uso adequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) é indispensável. A Figura 8 apresenta os principais componentes recomendados para trabalhadores que lidam com agrotóxicos. Esses elementos formam uma barreira física que reduz significativamente o contato com substâncias tóxicas por vias dérmicas e respiratórias. No entanto, o uso do EPI só é efetivo quando acompanhado de treinamento adequado, manutenção dos equipamentos e fiscalização contínua.

Figura 8- EPIs Indispensáveis



Fonte: Agrofit/Embrapa (2023).

2.1.6 Comparativo das Regulamentações Internacionais

2.1.6.1 União Europeia

O clorpirifós foi banido em toda a União Europeia a partir de janeiro de 2020, após parecer técnico da EFSA (Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar) concluir que não era possível identificar um nível seguro de exposição ao composto. A avaliação apontou riscos concretos de genotoxicidade e neurotoxicidade no desenvolvimento cerebral de crianças, mesmo em baixas concentrações. Também foram observadas alterações comportamentais em modelos experimentais e possíveis danos ao DNA, além da ausência de um limite de dose aceitável. Assim, a Comissão Europeia não renovou sua autorização para comercialização e uso agrícola (EFSA, 2019)

2.1.6.2 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) proibiu o uso do clorpirifós em alimentos em agosto de 2021, após duas décadas de pressão científica e jurídica. A decisão foi impulsionada por estudos que mostraram associação entre a exposição intrauterina ao clorpirifós e redução do desempenho cognitivo, alterações da estrutura cerebral e atrasos no desenvolvimento cognitivo de crianças, como demonstrado em pesquisas conduzidas pela Universidade de Columbia (RAUH et al., 2012). A decisão final foi sustentada por uma petição da NRDC (Natural Resources Defense Council) e pelo reconhecimento da EPA de que não conseguia mais comprovar que o uso do pesticida era seguro, mesmo com uso de EPIs (EPA, 2021).

2.6.1.3 Brasil

Diferentemente dos EUA e da União Europeia, o Brasil continua permitindo o uso do clorpirifós em diversas culturas como soja, milho e café. O ingrediente ativo ainda consta como autorizado pela ANVISA, apesar de estar em processo de reavaliação desde 2008. O Brasil estabelece um LMR para água potável de 30 µg/L,

o que representa um valor 300 vezes superior ao permitido na União Europeia que é de 0,1 µg/L. (MARQUES, 2021).

Além disso uma reportagem da Repórter Brasil (2021) revelou que mesmo após o banimento internacional, o Brasil segue como um dos principais mercados consumidores da substância. Especialistas criticam a lentidão da reavaliação toxicológica no país e apontam para falhas estruturais no sistema de regulação de agrotóxicos, que tende a priorizar interesses econômicos frente à proteção da saúde coletiva.

2.6.1.4 América Latina

Na América Latina, os países apresentam abordagens distintas. A Argentina proibiu a importação e comercialização de produtos à base de clorpirifós em 2021, citando evidências de riscos à saúde humana e ao ambiente, baseadas nos estudos da EPA e da EFSA. A resolução foi motivada por uma análise de risco nacional conduzida pelo SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) (SENASA, 2021).

Por outro lado, países como Paraguai, Colômbia e México ainda permitem seu uso, embora organizações civis latino-americanas, como rede de informação e ação pela alimentação (FIAN Brasil) e a rede de ação contra pesticidas (RAP-AL), venham denunciando os impactos da substância na saúde pública e cobrando medidas mais restritivas. A denúncia mais comum é a de que as populações rurais mais pobres são as mais expostas, sem acesso a medidas protetivas adequadas (FIAN Brasil, 2021).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão integrativa sobre os resíduos de Clorpirifós em alimentos, avaliando os impactos da intoxicação por organofosforados na saúde humana.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar estudos científicos que abordem a presença de resíduos de clorpirifós em alimentos e os níveis detectados em diferentes contextos;
- Discutir a relação entre a exposição aos organofosforados e os desafios para garantir segurança alimentar;
- Analisar os efeitos tóxicos de organofosforados na saúde humana

4 MATERIAL E METODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, conforme delineado por Whittemore e Knafl (2005), tendo como objetivo reunir, avaliar criticamente e sintetizar o conhecimento científico disponível sobre os resíduos de clorpirifós em alimentos, seus métodos de detecção e os impactos toxicológicos associados, com ênfase no contexto brasileiro. A escolha por uma abordagem integrativa deve-se à natureza multifacetada do tema, que envolve não apenas questões químicas e analíticas, mas também implicações regulatórias, sanitárias e socioambientais, exigindo a articulação de diferentes tipos de evidência científica.

A busca foi realizada no Portal de Periódicos da CAPES, reconhecido por sua ampla cobertura de bases acadêmicas revisadas por pares e acesso a literatura científica nacional e internacional. O levantamento bibliográfico foi conduzido entre fevereiro e maio de 2025, utilizando os descritores “clorpirifós”, “contaminação por organofosforados”, “resíduos de clorpirifós em alimentos” e “acetilcolinesterase”.

Esses termos foram escolhidos por representarem os principais eixos da problemática investigada, abrangendo desde o princípio ativo até seus mecanismos de toxicidade, com destaque para a inibição da enzima acetilcolinesterase, um dos marcadores mais sensíveis à exposição a organofosforados. Essa etapa permitiu a seleção inicial de um conjunto de estudos relevantes que sustentaram a análise crítica e a construção da síntese integrativa proposta neste trabalho.

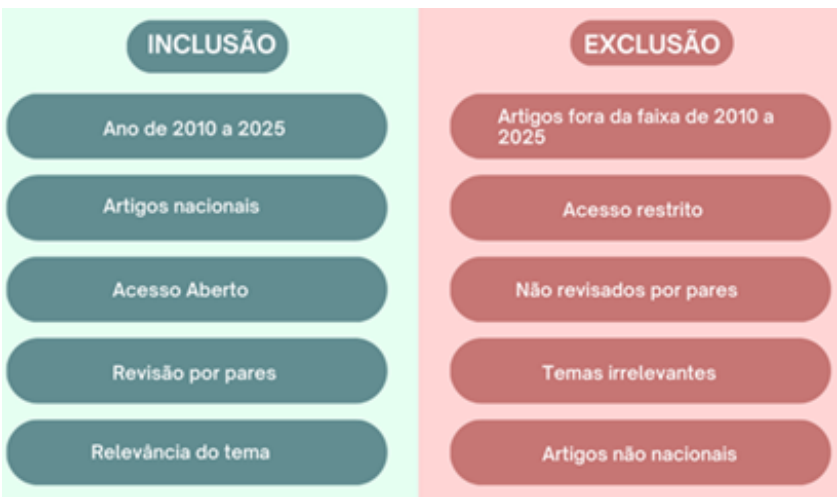
4.1 Critérios de inclusão e exclusão

Para assegurar a relevância, a qualidade metodológica e a adequação dos estudos incluídos nesta revisão integrativa, foram definidos critérios rigorosos de inclusão e exclusão, conforme a figura 9, aplicados durante a triagem das publicações encontradas. Foram considerados elegíveis os artigos publicados no período de 2010 a 2025, disponíveis em acesso aberto, redigidos em português, e que tivessem passado por processo de revisão por pares.

Além disso, os estudos deveriam abordar de forma direta a presença de resíduos de clorpirifós em alimentos, os métodos utilizados para sua detecção, os efeitos toxicológicos relacionados à exposição alimentar, especialmente no que diz respeito à inibição da enzima acetilcolinesterase, e aspectos regulatórios vinculados ao uso do agrotóxico em território nacional.

Foram excluídas publicações que tratassem exclusivamente de outros pesticidas sem relação direta com o clorpirifós, artigos com foco em exposição ocupacional, estudos repetidos em diferentes bases, trabalhos que não apresentavam resultados empíricos ou que se limitavam a revisões superficiais, notas técnicas, editoriais ou textos opinativos sem fundamentação científica. A aplicação desses critérios visou garantir a coerência do corpus documental com os objetivos da pesquisa, promovendo uma análise crítica sólida, com base em dados consistentes, atualizados e cientificamente validados.

Figura 9- Critérios de Inclusão e Exclusão



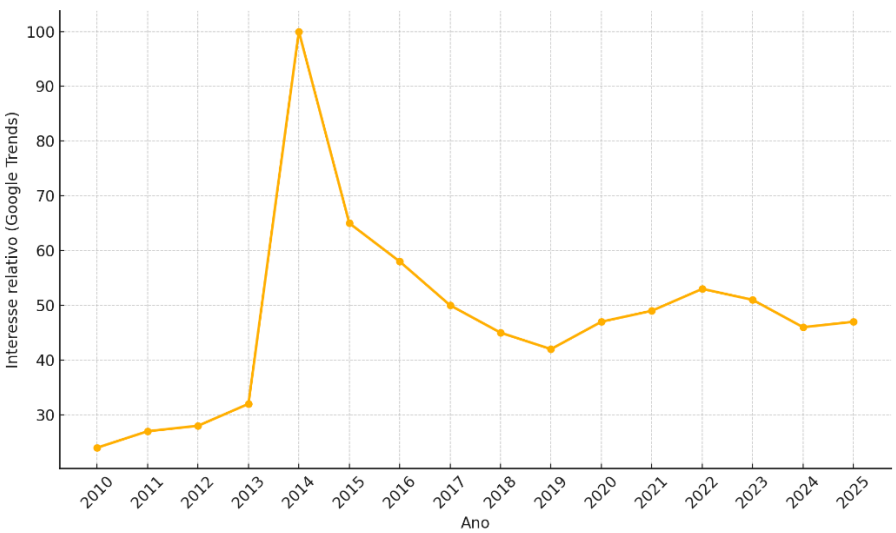
Fonte: Elaboração própria.

4.2 Análise de Tendência Pública (Google Trends)

De forma complementar à revisão bibliográfica, foi realizada uma análise exploratória de interesse público sobre o tema, e construído um gráfico ilustrado na figura 10 por meio da plataforma Google Trends. A busca foi feita com o termo "organofosforados", com filtro geográfico restrito ao Brasil, abrangendo o período de janeiro de 2010 a janeiro de 2025.

O objetivo dessa análise foi compreender o comportamento da sociedade em relação à procura de informações sobre o tema, permitindo correlacionar os períodos de maior interesse com acontecimentos relevantes, como casos de intoxicação, debates legislativos ou divulgação de estudos.

Figura 10- Tendência de busca pelo termo “organofosforados” no Brasil (2010–2025)



Fonte: Elaboração própria com base em dados públicos do Google Trends (2025)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa inicial no Portal de Periódicos da CAPES resultou em 403 artigos. Após a aplicação de critérios de seleção, como a limitação do período de publicação entre 2010 e 2025, acesso aberto e revisão por pares, o número foi reduzido para 72. Em seguida, os artigos foram analisados com base em seus títulos e conteúdos, resultando na seleção de 10 artigos relevantes para o tema.

Esses artigos abordam métodos de detecção de resíduos de clorpirifós em alimentos, os efeitos desse pesticida na saúde humana, com ênfase na inibição da acetilcolinesterase, e outros impactos tóxicos associados à exposição ao clorpirifós. A tabela 2 apresenta os detalhes dos 10 artigos selecionados.

Tabela 2- Principais estudos sobre resíduos de clorpirifós em alimentos selecionados na revisão

Título Resumido	***Autores***	***Método***	***Resumo dos Resultados***
Clorpirifós e tiametoxam em batata e solo	*Rigueira et al. (2013) **	*GC*	*Clorpirifós dentro do LMR nas batatas e acima no solo; tiametoxam acima em todas.*
Organofosforados em hortícolas	*Amaral et al. (2012) **	*GC*	*18,4% das amostras contaminadas; 17,2% acima do LMR; maioria com compostos não autorizados.*
Organofosforados e DNA em eletrodo de diamante	*Garbellini et al. (2013)*	*Eletroquímica*	*Estudo da interação com nucleotídeos de DNA usando eletrodos especiais.*
Agrotóxicos e Trichogramma em maçã	*Nörnberg et al. (2011)*	*Bioensaio*	*Avaliação da persistência de agrotóxicos e impacto no inimigo natural.*
Resíduos em tomate: validação laboratorial	*Cardoso et al. (2010)*	*HPLC-UV*	*Validação de método para análise de agrotóxicos em tomate.*
Clorpirifós em água por HPLC-UV	*Oliveira et al. (2019)*	*HPLC-UV*	*Desenvolvimento de método com microextração dispersiva para água.*
Contaminação por agrotóxicos em alimentos	*Alonzo & Costa (2019)*	*Revisão*	*Análise de níveis de contaminação e impactos na saúde.*
Biotransformação e toxicidade de organofosforados	*Soares (2016)*	*Experimental*	*Avaliação da biotransformação e efeitos tóxicos em organismos modelo.*
Clorpirifós e dano oxidativo em minhocas	*Díaz Pineda et al. (2019)*	*Experimental*	*Efeito oxidativo do clorpirifós em minhocas expostas ao LMR.*
Degradação de clorpirifós por microrganismos	*Hernández-Ruiz (2016)*	*Experimental*	*Estudo da biodegradação do clorpirifós por diferentes microrganismos.*

Fonte: Elaboração própria (2025)

A partir da análise dos dez artigos selecionados nesta revisão, torna-se evidente a relevância contínua do clorpirifós nas investigações sobre contaminação ambiental e alimentar, bem como seu impacto sobre a saúde humana e a biodiversidade. As abordagens metodológicas variadas – que incluem cromatografia gasosa, eletroquímica, biossensores, HPLC-UV e experimentos biológicos – revelam não apenas a diversidade de técnicas aplicadas, mas também a complexidade inerente à avaliação dos riscos desse pesticida. Esta discussão procura integrar, detalhar e interpretar criticamente os dados apresentados nos estudos analisados, com o objetivo de oferecer uma compreensão ampliada dos perigos do clorpirifós e das lacunas na regulação e no monitoramento brasileiro.

O estudo conduzido por Rigueira et al. (2013) empregou a técnica de extração sólido-líquido com partição a baixa temperatura (SLE/LTP) combinada à cromatografia gasosa para quantificar resíduos de clorpirifós e tiametoxam em amostras de batata (Solanum tuberosum L.) e solo. Os resultados apontaram que os resíduos de clorpirifós estavam dentro dos Limites Máximos de Resíduos (LMR) nas amostras de batata, mas os níveis de tiametoxam ultrapassaram os limites em todas as amostras analisadas, especialmente no solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo.

A presença do clorpirifós no solo, mesmo dentro dos LMRs, reforça sua persistência no ambiente, indicando risco de contaminação secundária e possibilidade de bioacumulação na cadeia alimentar. Este achado é particularmente relevante em contextos de uso contínuo do produto e em regiões com baixa taxa de renovação da matéria orgânica.

Já o estudo de Amaral et al. (2012) também utilizou a cromatografia gasosa para analisar resíduos de organofosforados em hortícolas. Os pesquisadores validaram um método multirresíduos e, ao analisar 309 amostras, identificaram que 18,4% estavam contaminadas com pesticidas, sendo que 17,2% ultrapassavam os LMRs estabelecidos pela legislação vigente. Alarmantemente, 94,3% dessas amostras irregulares continham resíduos de pesticidas não autorizados para a cultura analisada, revelando falhas graves na aplicação e fiscalização do uso de agrotóxicos. Este estudo é particularmente importante por chamar atenção para a exposição alimentar direta, uma vez que os produtos analisados – alface, banana

e tomate – são de consumo diário pela população brasileira. A metodologia validada também se mostrou eficaz e reprodutível, contribuindo com ferramentas analíticas para o controle de qualidade de alimentos.

Garbellini et al. (2013), por sua vez, adotaram uma abordagem diferenciada ao aplicar métodos eletroquímicos para investigar a interação de compostos organofosforados com nucleotídeos de DNA. Utilizando eletrodos de diamante dopado com boro (BDD), os autores demonstraram que os organofosforados analisados, incluindo o clorpirifós, apresentaram capacidade de interação direta com estruturas nucleotídicas, com alterações no sinal eletroquímico indicativo de reações com as bases nitrogenadas.

Essa interação sugere possível genotoxicidade, mesmo em níveis que não causam toxicidade aguda. A escolha do BDD como ferramenta analítica se justifica por sua alta sensibilidade, ampla janela de trabalho e resistência a passivação, o que permite a detecção de interações moleculares sutis. O estudo demonstra que os efeitos do clorpirifós podem extrapolar os limites da toxicologia tradicional, exigindo ferramentas analíticas mais avançadas para avaliar riscos subclínicos e cumulativos.

Além disso, Nörnberg et al. (2011) focaram em um aspecto frequentemente negligenciado: os efeitos dos pesticidas sobre organismos benéficos utilizados no controle biológico. O trabalho avaliou a persistência de agrotóxicos usados na produção integrada de maçã sobre o parasitoide Trichogramma pretiosum, um importante agente de controle de pragas.

Embora os resíduos detectados estivessem abaixo dos LMRs para consumo humano, o estudo demonstrou que a presença contínua desses compostos afeta negativamente a atividade e a viabilidade do parasitoide, comprometendo estratégias de manejo integrado de pragas. Essa constatação reforça a importância de considerar os impactos ecológicos indiretos dos pesticidas, que não são capturados pelas análises convencionais de risco à saúde humana.

Cardoso et al. (2010) desenvolveram um método robusto por HPLC-UV para a detecção de resíduos de clorpirifós em amostras de tomate. O estudo seguiu protocolos rigorosos de validação, incluindo curvas de calibração em cinco níveis

de concentração, análise de repetibilidade intra e interdia, e estudo de recuperação. A metodologia se mostrou eficaz para detectar níveis abaixo do LMR nacional (0,1 mg/kg para tomate), permitindo monitoramento preciso com baixo custo operacional. O diferencial do estudo foi a sua aplicabilidade em laboratórios com infraestrutura limitada, sem a necessidade de equipamentos sofisticados como espectrômetros de massas. Os autores concluíram que o método proposto é altamente replicável e sensível, sendo uma ferramenta estratégica para programas de fiscalização e controle de resíduos de agrotóxicos em produtos hortifrutigranjeiros.

Oliveira et al. (2019) avançaram ao aplicar a técnica de microextração líquido-líquido dispersiva (DLLME), associada à HPLC-UV, para detectar clorpirifós em amostras aquosas. Essa abordagem inovadora permitiu obter limites de detecção da ordem de 0,002 mg/L, valor inferior ao LMR brasileiro para água potável (30 µg/L). A pesquisa também destaca a simplicidade e rapidez do método, ideal para aplicação em rotina laboratorial, além da possibilidade de adaptação para outros organofosforados, demonstrando versatilidade analítica.

A eficiência do método foi confirmada por altas taxas de recuperação (entre 83% e 97%) e baixo desvio padrão, mesmo em condições experimentais variadas. Esse trabalho oferece uma alternativa acessível e tecnicamente eficaz para o monitoramento ambiental, principalmente em regiões onde o controle da qualidade da água é precário. Os autores concluíram que a técnica pode contribuir significativamente para a vigilância sanitária e ambiental, promovendo respostas mais ágeis diante de contaminações por agrotóxicos.

Alonzo e Costa (2019) desenvolveram uma análise crítica baseada em revisão bibliográfica e em documentos técnicos que abordam a presença de resíduos de agrotóxicos em alimentos no Brasil, com especial atenção ao funcionamento e às fragilidades do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). Os autores apontam a baixa representatividade das amostras analisadas e a ineficácia de resposta regulatória diante da detecção de substâncias em níveis irregulares. Como exemplo, citaram que entre 2010 e 2018 foram analisadas 25 mil amostras de alimentos, mas apenas uma fração delas envolveu culturas de consumo massivo como arroz, feijão e hortaliças. Além disso,

mesmo quando resíduos de agrotóxicos não autorizados foram identificados, poucas medidas corretivas foram tomadas, evidenciando uma desconexão entre a geração de dados e a ação fiscalizatória.

Os autores também criticam a lentidão na reavaliação toxicológica de ingredientes ativos já banidos em outros países, como o clorpirifós, e defendem uma reformulação do PARA com maior periodicidade, abrangência territorial e articulação entre Anvisa, MAPA e órgãos estaduais de saúde. A conclusão do estudo é clara: o Brasil precisa de uma política de monitoramento mais robusta, transparente e efetiva para garantir a segurança alimentar da população.

Soares (2016) propôs uma avaliação experimental da biotransformação de organofosforados em modelos animais de exposição crônica. Foram utilizadas linhagens murinas expostas a doses subcrônicas de clorpirifós por 60 dias, com análise histopatológica do fígado e do córtex cerebral. Os resultados revelaram degeneração hepática leve a moderada, além de comprometimento na atividade da colinesterase plasmática, indicando neurotoxicidade.

O autor também observou bioacumulação nos rins e tecido adiposo, reforçando a capacidade lipofílica do composto e sua persistência no organismo mesmo após a cessação da exposição. Houve ainda alteração nos níveis de enzimas hepáticas como como alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST), além de sinais de inflamação crônica nos tecidos avaliados.

Esses achados são relevantes porque demonstram que, mesmo em concentrações próximas aos Limites Máximos de Resíduos (LMRs), o clorpirifós pode causar efeitos tóxicos cumulativos em longo prazo. O estudo conclui que os atuais parâmetros regulatórios podem estar subestimando os riscos da exposição contínua a baixos níveis de organofosforados, especialmente em populações vulneráveis como crianças e trabalhadores rurais.

Díaz Pineda et al. (2019) utilizaram Eisenia foetida, uma minhoca amplamente empregada como bioindicadora, para avaliar os efeitos do clorpirifós sobre o solo. Os autores expuseram os organismos por até 28 dias a diferentes concentrações do pesticida, incluindo doses próximas ao Limite Máximo de

Resíduo (LMR) adotado por órgãos reguladores. Durante o experimento, foi observada uma elevação significativa dos níveis de malondialdeído (MDA), um dos principais marcadores bioquímicos de estresse oxidativo e peroxidação lipídica. Além disso, análises histológicas revelaram alterações morfológicas expressivas nos tecidos intestinais e na epiderme das minhocas, incluindo desorganização celular, infiltração inflamatória e vacuolização citoplasmática.

Esses efeitos ocorreram mesmo nas concentrações mais baixas testadas, sugerindo que a toxicidade do clorpirifós pode se manifestar em organismos edáficos mesmo em níveis considerados "seguros" para humanos. O estudo reforça a importância de incluir organismos não-alvo nas avaliações ecotoxicológicas e evidencia que os LMRs atuais não contemplam os efeitos ecossistêmicos mais sutis, porém relevantes para a saúde do solo e para a sustentabilidade agrícola.

O trabalho de Hernández-Ruiz (2016) investigou a aplicação da biorremediação como estratégia para degradação do clorpirifós em solos e águas contaminadas. Foram isoladas cepas bacterianas do gênero Pseudomonas e Bacillus a partir de solos agrícolas, que mostraram capacidade de degradar até 85% do composto após 30 dias de incubação em condições laboratoriais controladas.

Os testes foram realizados em diferentes faixas de pH, temperatura e umidade, com o objetivo de simular cenários reais de contaminação agrícola. A autora também analisou o comportamento metabólico das cepas na presença de contaminantes simultâneos, como glifosato e metais pesados, observando que a eficiência de degradação do clorpirifós diminuía em ambientes com competição química, mas ainda se mantinha acima de 60%.

Um dos diferenciais do estudo foi a avaliação da atividade enzimática das bactérias, incluindo fosfatases e hidrolases específicas, que indicaram mecanismos de adaptação ao estresse químico. Hernández-Ruiz conclui que, apesar dos resultados laboratoriais promissores, a aplicação em campo da biorremediação requer otimizações quanto à formulação, estabilidade microbiana e regulamentação ambiental, mas representa uma alternativa viável e sustentável para mitigar os impactos do clorpirifós no meio ambiente.

Além das evidências experimentais, esta pesquisa incorporou uma análise temporal do interesse público em torno do termo “organofosforados”, utilizando a plataforma Google Trends como ferramenta de observação de comportamento coletivo ao longo de 15 anos (2010–2025). Conforme apresentado na Figura 10, o gráfico revela um pico de buscas extremamente acentuado em 2014, seguido por uma queda abrupta em 2015 e posterior estabilização em patamares medianos a baixos entre 2016 e 2025.

O ano de 2014, em especial, representa um ponto fora da curva, com o valor máximo de interesse relativo (100). Esse comportamento coincide com o início de debates mais amplos na esfera pública e política sobre o uso de agrotóxicos no Brasil, incluindo denúncias envolvendo intoxicações por pesticidas e tramitações legislativas sobre flexibilizações no controle dessas substâncias. Embora o gráfico não explique diretamente as causas do aumento, a correlação com esses fatos sugere que eventos de grande repercussão midiática impactam fortemente o engajamento popular.

A partir de 2015, observa-se um declínio no volume de buscas, seguido por uma estabilização entre 30 e 60 pontos ao longo da década seguinte. Apesar de alguns picos esporádicos entre 2020 e 2022, provavelmente associados à proibição do clorpirifós nos Estados Unidos (2021) e ao crescimento das pautas sobre segurança alimentar, o interesse popular não voltou a atingir os níveis de 2014. Esse comportamento pode indicar uma sensibilidade social intermitente, dependente da visibilidade que o tema recebe na mídia ou nas redes.

O padrão geral sugere que, embora o termo “organofosforados” continue a despertar atenção em momentos específicos, não há uma mobilização contínua da sociedade civil em torno do tema. Isso reforça a necessidade de ações educativas, campanhas públicas e maior transparência sobre o impacto dos pesticidas na saúde humana e ambiental. A análise, portanto, evidencia que o interesse popular sobre os riscos dos agrotóxicos não é espontâneo nem sustentado, mas responde a picos de exposição e debate público, o que pode comprometer a pressão social por regulamentações mais rígidas e políticas públicas efetivas.

De forma ampla e integrada, os resultados desta revisão evidenciam que o clorpirifós permanece como um dos maiores desafios para a segurança alimentar

e ambiental contemporânea. Apesar dos avanços metodológicos na detecção do composto — com técnicas acessíveis e eficazes validadas em diferentes matrizes, como solo, água e alimentos —, os dados reunidos demonstram que seus riscos não se limitam à toxicidade aguda. Pelo contrário, os estudos apontam efeitos crônicos silenciosos, bioacumulação, interferências em organismos não-alvo e falhas no processo de regulação e monitoramento, o que agrava a situação em vez de mitigá-la.

Esta pesquisa, ao reunir evidências de diferentes naturezas — laboratoriais, moleculares, ambientais, regulatórias e sociais —, reforça a urgência de um novo olhar sobre o uso de agrotóxicos no Brasil. A análise do Google Trends contribui de forma inovadora ao revelar que o interesse público por organofosforados segue um padrão oscilante, movido mais por episódios midiáticos do que por uma consciência crítica contínua. Isso demonstra que, embora o tema seja relevante, ainda está distante de mobilizar a sociedade de forma permanente, o que limita a pressão por mudanças reais.

O ponto central desta investigação é a contradição entre o acúmulo consistente de evidências científicas sobre os riscos do clorpirifós e a persistente inércia das ações regulatórias no Brasil. Os dados obtidos por Rigueira et al. (2013) e Amaral et al. (2012) apontam para a presença de resíduos acima dos limites permitidos em solo e hortaliças, enquanto estudos como os de Díaz Pineda et al. (2019) revelam que mesmo níveis dentro do LMR podem causar efeitos oxidativos significativos em organismos modelo, como minhocas. Isso escancara o limite da abordagem atual, que se baseia apenas em níveis máximos autorizados, sem considerar os efeitos subclínicos e acumulativos.

Adicionalmente, pesquisas como a de Garbellini et al. (2013), que demonstram a interação entre organofosforados e o DNA em nível molecular, apontam para potenciais efeitos genotóxicos que ainda são subestimados nas análises de risco convencionais. A isso se somam os trabalhos de Soares (2016) e Nörnberg et al. (2011), que revelam impactos sistêmicos e indiretos da exposição ao clorpirifós — seja na forma de alterações celulares silenciosas, seja na desestabilização de agentes de controle biológico como o Trichogramma. Esses efeitos colaterais são quase invisíveis aos modelos tradicionais de avaliação de

toxicidade, mas acumulam-se e reforçam a urgência de uma revisão do paradigma regulatório.

Mesmo quando considerados os avanços metodológicos, como os validados por Cardoso et al. (2010) e Oliveira et al. (2019), a lacuna está em sua aplicação sistemática no campo e na fiscalização de rotina. Os métodos são sensíveis, eficazes e economicamente viáveis, mas sua adoção em escala nacional é limitada. Ao mesmo tempo, estudos como o de Hernández-Ruiz (2016) demonstram que há alternativas de remediação ecológica promissoras, como a biorremediação microbiana, ainda pouco exploradas nas políticas públicas.

A revisão ampla de Alonzo e Costa (2019) reforça que os entraves não estão na ausência de conhecimento técnico, mas sim na ausência de vontade institucional. A omissão do Estado na conversão do saber científico em ações concretas perpetua uma cadeia alimentar contaminada e uma população exposta. Mais do que identificar os riscos, este trabalho se propôs a denunciar a tolerância sistêmica à permanência desse composto, sinalizando uma desconexão crônica entre ciência e política.

Portanto, é imprescindível que os dados aqui discutidos não permaneçam apenas no âmbito acadêmico. Eles devem ser instrumentalizados como base para políticas públicas mais rígidas, uma reavaliação séria dos LMRs com base em toxicidade real e cumulativa, o fortalecimento de programas como o PARA e o estímulo à substituição do clorpirifós por métodos menos danosos. Este pesticida, diante das evidências reunidas, não pode mais ser tratado como um insumo agrícola comum. Ele simboliza o modelo de desenvolvimento que escolhemos sustentar — e ao questionarmos sua permanência, também questionamos a lógica produtivista que prioriza o lucro em detrimento da saúde coletiva e da sustentabilidade ambiental.

6 CONCLUSÃO

A presente revisão integrativa permitiu reunir e analisar evidências consistentes sobre a permanência do clorpirifós em cadeias alimentares, seus efeitos tóxicos sobre a saúde humana e ambiental, e as fragilidades regulatórias que sustentam seu uso no Brasil. O objetivo proposto foi plenamente alcançado: identificamos não apenas a recorrência de resíduos acima dos LMRs, mas também falhas no controle, lacunas na fiscalização e o risco real que esse composto representa, mesmo em doses legalmente permitidas.

Diante disso, é inegável que a manutenção do clorpirifós no sistema agrícola nacional reflete mais uma tolerância estrutural do que um respaldo científico. A evidência é clara: onde a ciência aponta perigo, a legislação hesita. Portanto, é urgente repensar o modelo de produção vigente e priorizar alternativas seguras, sustentáveis e orientadas pela saúde pública. O clorpirifós é mais do que um agrotóxico — é o retrato de escolhas que precisam ser revistas.

REFERÊNCIAS

ABRASCO. Dossiê Danos dos Agrotóxicos na Saúde Reprodutiva. **Rio de Janeiro: ABRASCO, 2024**. Disponível em: https://abrasco.org.br/wp-content/uploads/2024/12/Dossie-Abrasco_Danos-dos-Agrotoxicos-na-Saude-Reprodutiva.pdf. Acesso em: 17 maio 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA **(ANVISA)**. Reavaliação de agrotóxicos: Clorpirifós. Brasília: ANVISA, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa. Acesso em: 28 abr. 2025.

ALONZO, H. G.; COSTA, M. A. Avaliação e monitoramento dos níveis de contaminação por resíduos de agrotóxicos em alimentos. **Revista Brasileira de Agroecologia, 2019**. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

AMARAL, E. H. et al. Resíduos de inseticidas organofosforados: validação de método e ocorrência em hortícolas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, 2012. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

ARONIADOU-ANDERJASKA, V. et al. Mechanisms of organophosphate toxicity and the role of acetylcholinesterase inhibition. **Toxics**, v. 11, n. 10, p. 866, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2305-6304/11/10/866. Acesso em: 28 abr. 2025.

ASCENZA AGRO S.A. Bula Clorpirifós 48 EC. São Paulo: **ASCENZA AGRO S.A., 2023**. Disponível em: https://ascenza.com.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

ATSDR – AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Toxicological profile for chlorpyrifos. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and

Human Services**, Public Health Service, 1997**. Disponível em: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp84.pdf. Acesso em: 17 maio 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária **(ANVISA)**. Monografia do ingrediente ativo clorpirifós, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa. Acesso em: 14 maio 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária **(ANVISA)**. Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). Disponível em: https://www.gov.br/anvisa. Acesso em: 14 maio 2025.

BOCHNER, Rosany. Análise da informação das intoxicações por agrotóxicos a partir dos dados do Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas e Sistema de Informação de Agravos de Notificação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 2, p. 869-880, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csc/a/YFZJpgts6gFSKMyf8Qbh8tP/. Acesso em: 14 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 31 – Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura. **Brasília, 2024**. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego. Acesso em: 17 maio 2025.

CABRERA, S. M. Evaluación de estrategias para la biorremediación de suelos hortícolas bonaerenses impactados con endosulfán y clorpirifós. 2020. Tesis (Doctorado) **– Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados** Ing. Agr. Alberto Soriano.

CARDOSO, M. H. W. et al. Validação de método para determinação de resíduos de agrotóxicos em tomate. **Química Nova na Escola**, 2010. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

CAVALIERE, Maria José et al. Miotoxicidade por organofosforados. **Revista de Saúde Pública,** São Paulo, v. 30, n. 3, p. 267–273, 1996. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/rsp/a/56gb46BgVHYP84C947hMfsv/. Acesso em: 14 maio 2025.

DÍAZ PINEDA, A. M. et al. Evasión y daño oxidativo inducido por clorpirifós al LMR sobre Eisenia foetida. **Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas, 2019**. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

EFSA – EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance chlorpyrifos. **EFSA Journal**, v. 17, n. 11, p. 1–27, 2019. Disponível em: https://www.efsa.europa.eu. Acesso em: 17 maio 2025.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Final rule: Chlorpyrifos; Tolerance Revocations. **EPA, 2021**. Disponível em: https://www.epa.gov. Acesso em: 17 maio 2025.

FERNANDES, M. A. et al. Exposição a agrotóxicos e agravos à saúde em trabalhadores agrícolas: o que revela a literatura? **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 45, e36, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br. Acesso em: 17 maio 2025.

FIAN BRASIL. Agrotóxicos na América Latina: Violações contra o Direito Humano à Alimentação e Nutrição Adequadas. Brasília: **FIAN, 2021**. Disponível em: https://fianbrasil.org.br. Acesso em: 17 maio 2025.

FUNDECITRUS. ProteCitrus exclui clorpirifós após União Europeia não renovar registro do ingrediente ativo. **Fundecitrus, 2020**. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

GABOARDI, Samara Cristina; PIGNATI, Wanderley. Food safety: relation between pesticides and poisoning. **Food Science and Technology**, v. 39, supl. 2, p. 1–7, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cta/a/jbg3JTp9FnjDp8sVCc859vC/. Acesso em: 14 maio 2025.

GABOARDI, S. C. Resíduos de agrotóxicos em alimentos no Brasil: considerações acerca do monitoramento do PARA (2001–2018).

Ambientes:**Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 4, n. 1, p. 160–200, 2022. DOI: https://doi.org/10.48075/amb.v4i1.28294. Acesso em: 28 abr. 2025.

GARBELLINI, G. S. et al. Interaction of organophosphorus pesticides with DNA nucleotides on a boron-doped diamond electrode. **Electrochimica Acta, 2013.** Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

GUERRERO, C. R. B.; RESTREPO, O. D. Los pesticidas: clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. **ResearchGate, 2018**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327633602. Acesso em: 28 abr. 2025.

GURGEL, A. M. Efeitos neurotóxicos dos agrotóxicos organofosforados: um alerta sobre os impactos na saúde. **Fiocruz, 2017**. Disponível em: https://www.cpqam.fiocruz.br/bibpdf/2017gurgel-am.pdf. Acesso em: 28 abr. 2025.

HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Degradación de clorpirifós en diferentes concentraciones por medio de diferentes microorganismos. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 2016**. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

HOLLENBERG, P. F. et al. Mechanism-based inactivation of human cytochrome P450 2B6 by chlorpyrifos. **Chemical Research in Toxicology**, v. 28, n. 8, p. 1605–1612, 2015. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.5b00156. Acesso em: 17 maio 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ATUALIZAÇÃO PROFISSIONAL **(IBAP).** Colinesterase plasmática e eritrocitária. [S.l.]: IBAP, [s.d.]. Disponível em: https://ibapcursos.com.br/colinesterase-plasmatica-e-eritrocitaria/. Acesso em: 21 maio 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Exposição no trabalho e no ambiente: agrotóxico. **INCA, 2022**. Disponível em: https://www.gov.br/inca. Acesso em: 17 maio 2025.

LAGUNA, A. L. F.; ANANIAS, F. Avaliação dos resíduos de clorpirifós no leite bovino e sua implicação na saúde humana. **Brazilian Journal of Animal and**

Environmental Research, v. 6, n. 2, p. 1–12, 2023. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

MARQUES, L. Atlas do envenenamento alimentar no Brasil. **Jornal da Unicamp, 2021**. Disponível em: https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/atlas-do-envenenamento-alimentar-no-brasil. Acesso em: 17 maio 2025

MOREIRA, João Carlos et al. Exposição a agrotóxicos em agricultores de Bento Gonçalves (RS): uma abordagem integrada entre avaliação ambiental, ocupacional e biológica. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 115–130, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csc/a/DzGyMnQ6mMjK67pRDFp4pgx/. Acesso em: 14 maio 2025.

MSD MANUALS. Intoxicação por organofosforados e carbamatos. **MSD Manuals, s.d.** Disponível em: https://www.msdmanuals.com. Acesso em: 28 abr. 2025.

NOGUEIRA, F. A. M. et al. Efeitos dos agrotóxicos na saúde ocupacional do agricultor brasileiro: uma revisão integrativa. **Observatório Latino-Americano**, v. 5, n. 2, p. 45–60, 2024. Disponível em: https://ojs.observatoriolatinoamericano.com. Acesso em: 17 maio 2025.

NÖRNBERG, S. D. et al. Persistência de agrotóxicos utilizados na produção integrada de maçã a Trichogramma pretiosum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2011**. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

OLIVEIRA, A. N. et al. Desenvolvimento de metodologias analíticas para determinação de clorpirifós em amostras aquosas empregando a microextração líquido-líquido dispersiva seguida por HPLC-UV. **Revista Virtual de Química**,

2019. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

RAUH, V. A. et al. Brain anomalies in children exposed prenatally to chlorpyrifos. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 20, p. 7871–7876, 2012. Disponível em: https://www.pnas.org. Acesso em: 17 maio 2025.

REPÓRTER BRASIL. Brasil continua a vender agrotóxico banido nos EUA e que pode diminuir QI de crianças. **Repórter Brasil, 2021**. Disponível em: https://reporterbrasil.org.br. Acesso em: 17 maio 2025.

RAMESH, A. et al. Human exposure and health effects of chlorpyrifos: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 6, p. 5298–5312, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-017-0740-y. Acesso em: 17 maio 2025.

RIGUEIRA, L. M. B. et al. Determinação de clorpirifós e tiametoxam em tubérculos de batata e solo por SLE/LTP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2013**. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

SANTOS, V. M. R. et al. Compostos organofosforados pentavalentes: histórico, métodos sintéticos de preparação e aplicações como inseticidas e agentes antitumorais. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 159–170, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net. Acesso em: 14 maio 2025.

SENASA. Resolución N° 414/2021: Prohibición del uso y comercialización del clorpirifós en Argentina. **Boletín Oficial de la República Argentina, 2021.** Disponível em: https://www.argentina.gob.ar. Acesso em: 17 maio 2025.

SILVA, A. C. M. da. Resíduos de clorpirifós em tomate: estudo preliminar de método de análise por dispersão em fase sólida e HPLC-DAD. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal de São Paulo, Campus Matão. **IFSP Repositório Institucional**. Disponível em: https://repositorio.ifsp.edu.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

SILVA, A. da; SOUSA, J. C. de; LIMA, M. A. de L. Desenvolvimento e validação de método analítico para determinação de resíduos de clorpirifós em tomate por

cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **IFCE Publicações Técnicas, 2016**. Disponível em: https://prpi.ifce.edu.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

SOARES, R. M. Estudos de biotransformação de pesticidas organofosforados e avaliação de seus efeitos tóxicos. **Ciência Rural, 2016**. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

SOUZA, L. F.; SOARES, M. G.; DA COSTA, J. G. M. Teste de inibição da enzima acetilcolinesterase de compostos organofosforados sintetizados. Embrapa **Informática Agropecuária, 2011**. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br. Acesso em: 24 mar. 2025.

SOUZA, M. V. de; ALMEIDA, P. C. de; PEREIRA, J. C. de L. Método para determinação de resíduos de clorpirifós em alface por cromatografia a líquido de alta eficiência (CLAE). **ResearchGate, 2015**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274171097. Acesso em: 28 abr. 2025.

SPINOSA, H. S. **Toxicologia aplicada à medicina veterinária**. São Paulo: Manole, 2020. Disponível em: https://lume.ufrgs.br. Acesso em: 28 abr. 2025.

STRAUS, D. L.; SCHLENK, D.; CHAMBERS, J. E. Hepatic microsomal desulfuration and dearylation of chlorpyrifos and parathion in fingerling channel catfish: lack of effect from Aroclor 1254. **Aquatic Toxicology**, v. 50, n. 2, p. 141–149, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0166-445X(99)00089-9. Acesso em: 17 maio 2025.

TORRES, M.; POZO, K.; DÍAZ, V. Influencia de la degradación del Clorpirifós en la detección analítica utilizando biosensores: revisión del estado actual y aspectos

futuros. **Entre Ciencia e Ingeniería**, v. 15, n. 30, p. 9–21, 2021. DOI: https://doi.org/10.31908/19098367.2102. Acesso em: 17 maio 2025.

VIEIRA, M. A. et al. Atividades econômicas relacionadas aos agrotóxicos e ao trabalho: para além da agropecuária. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 49, e19, 2024. Disponível em: https://www.scielo.br. Acesso em: 17 maio 2025.