

## TÉCNICAS DE CROMATOGRAFIA PARA DETERMINAÇÃO E MONITORAMENTO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS EM AMOSTRAS AMBIENTAIS

Deborah Rêgo de Sousa\*

Vanessa Nunes Alves\*

**Resumo:** A pesquisa realizada por meio de revisão de literatura, considerou como métodos mais utilizados para análise dos resquícios de defensivos agrícolas, a cromatografia gasosa (CG) e a cromatografia líquida (CL). Ambos os processos acoplados a espectrometria de massa combinam as vantagens da cromatografia (alta seletividade e eficiência de separação) com as vantagens da espectrometria de massas (alta seletividade estrutural, massa molar, aumento adicional de seletividade e detectabilidade). Após a cromatografia, os compostos separados são encaminhados ao espectrômetro de massas para melhor identificação. Nesse processo, as moléculas presentes na amostra são ionizadas, e os íons formados são acelerados por campos elétricos ou magnéticos. Em seguida, eles são separados de acordo com suas razões massa/carga ( $m/z$ ). O detector registra esses íons e gera um espectro de massas, que permite visualizar os indicadores espectrais e identificar os resíduos contaminantes presentes nas amostras analisadas. O estudo configura relevância abordando o uso de métodos de detecção avançados os quais contribuem para o monitoramento a contaminação de elementos ambientais possibilitando a mitigação da poluição em áreas de uso de defensivos agrícolas avaliando riscos à biodiversidade bem como à saúde humana e animal.

**Palavras-chave:** Cromatografia; defensivos agrícolas; análise.

---

\* Instituto de Química – UFCAT: [deborahrego66@outlook.com](mailto:deborahrego66@outlook.com)

\* Instituto de Química – UFCAT: [vanessa.nunes@ufcat.edu.br](mailto:vanessa.nunes@ufcat.edu.br)

## INTRODUÇÃO

O uso de defensivos agrícolas se consolidou como prática recorrente na agricultura, especialmente em países que tem como carro-chefe de sua economia a produção e exportação agroindustrial, a exemplo do Brasil. Tais produtos químicos são empregados com o objetivo de aumentar a produtividade, controlar pragas e garantir maior qualidade dos produtos cultivados. Entretanto, o uso indiscriminado e inadequado destas substâncias gera impactos significativos no ambiente e na saúde humana e animal. A situação torna-se mais preocupante em decorrência da presença de defensivos agrícolas em solos, águas superficiais e subterrâneas, além da permanência de resíduos em alimentos destinados ao consumo, configurando um problema de ordem pública e científica (PIGNATI, et al 2007)

Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento e a aplicação de métodos analíticos capazes de identificar e quantificar tais resíduos em diferentes matrizes ambientais. Entre as técnicas disponíveis, a cromatografia se destaca como uma das mais eficientes e versáteis. Técnica esta que tem sido amplamente utilizada para separar, identificar e monitorar compostos químicos em misturas complexas, apresentando elevada sensibilidade e precisão. ALWSCI (2024), descreve que a evolução tecnológica permitiu o aprimoramento de diferentes modalidades cromatográficas, como a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e a cromatografia gasosa (GC), que se tornaram ferramentas indispensáveis em laboratórios de análise ambiental e de alimentos.

A relevância do tema está diretamente relacionada à necessidade de monitoramento contínuo dos resíduos de defensivos agrícolas, uma vez que a legislação nacional e internacional estabelece limites máximos de resíduos (LMRs) para garantir a segurança alimentar e ambiental. No Brasil, órgãos como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) desempenham papel fundamental na regulamentação e fiscalização do uso dessas substâncias. Assim, a aplicação de técnicas cromatográficas contribui não apenas para o cumprimento das normas vigentes, mas também para a prevenção de riscos à saúde e preservação dos recursos naturais.

Diante deste cenário, o trabalho em questão tem como objetivo geral analisar a aplicabilidade das técnicas cromatográficas na determinação e monitoramento de defensivos agrícolas nas amostras ambientais. Como objetivos específicos, busca-se:

- Identificar os principais métodos cromatográficos utilizados na análise de resíduos de defensivos agrícolas;
- Comparar a eficiência das técnicas em diferentes matrizes ambientais, como solo e água;
- Discutir a importância do monitoramento para a formulação de políticas públicas voltadas à segurança alimentar e à proteção ambiental.

O tema fora escolhido em decorrência da crescente preocupação com os impactos ambientais e sociais decorrentes do uso de defensivos agrícolas, bem como buscando explicar os métodos de análise que garantam maior confiabilidade nos resultados. A cromatografia, nesse sentido, representa uma ferramenta científica de grande relevância, capaz de fornecer subsídios para pesquisas acadêmicas, políticas regulatórias e práticas agrícolas mais sustentáveis.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de defensivos agrícolas no Brasil é um dos mais intensos do mundo, o que gera preocupações ambientais e de saúde pública. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2017), o país lidera o consumo global de pesticidas, superando até mesmo a soma de grandes potências agrícolas como China e Estados Unidos. Essa realidade reforça a necessidade de métodos analíticos confiáveis para monitorar resíduos em diferentes matrizes ambientais.

O uso indiscriminado de defensivos químicos pode acarretar diversos problemas ambientais como contaminação de rios e lagos por lixiviação e escoamento, contaminando águas superficiais e subterrâneas, perda de biodiversidade de insetos, bem como o aumento de doenças crônicas na população. Além disso, há registros de declínio de polinizadores, como abelhas, diretamente associado à presença de pesticidas no ambiente (Geiger, F. et al. 2010; Mostafalou, S. e Abdollahi, M. 2013; Woodcock, B. A. et al. 2017; Carvalho, F. P. 2017).

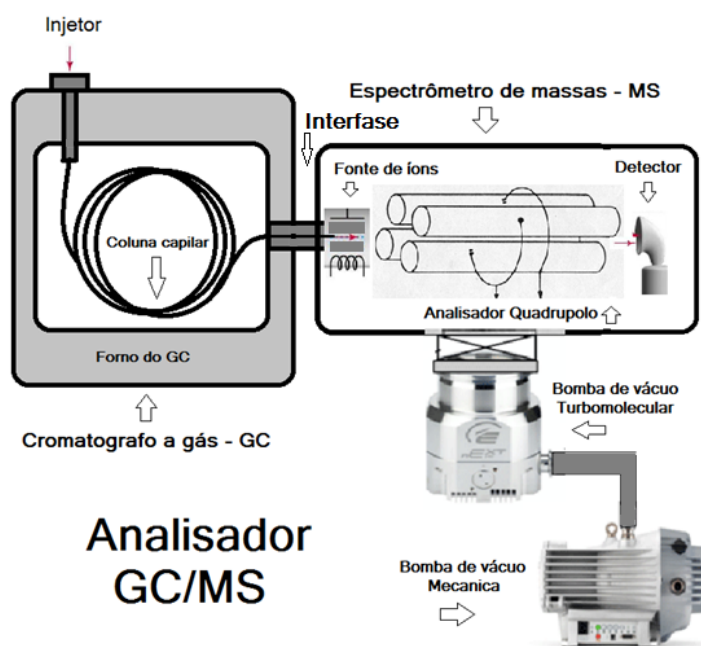
A legislação brasileira referente a defensivos agrícolas foi atualizada pela Lei nº 14.785/2023, que estabelece regras para pesquisa, produção, comercialização e

destino final dos resíduos. Já a ANVISA define limites máximos de resíduos (LMRs) em alimentos, enquanto o IBAMA atua na fiscalização ambiental. Esses parâmetros são fundamentais para orientar análises cromatográficas e garantir que os resultados estejam em conformidade com padrões nacionais e internacionais.

Pesquisas recentes têm desenvolvido metodologias analíticas cada vez mais robustas. Freitas (2020) destaca que a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) é especialmente eficaz para compostos voláteis, enquanto a HPLC se mostra mais adequada para pesticidas polares. Essa complementaridade reforça a importância de utilizar múltiplas técnicas para ampliar a cobertura analítica.

Portanto, é fundamental a disponibilidade de métodos capazes de identificar a presença de componentes químicos em amostras ambientais. Dos métodos mais eficazes para identificar resíduos de defensivos agrícolas em amostras ambientais a cromatografia gasosa (CG) se sobressai. A figura 1 mostra a estrutura de um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massas, devido a sua sensibilidade e efetividade para separar os componentes de misturas, torna-se uma das técnicas mais utilizadas em química e áreas afins (Santos et al, 2016).

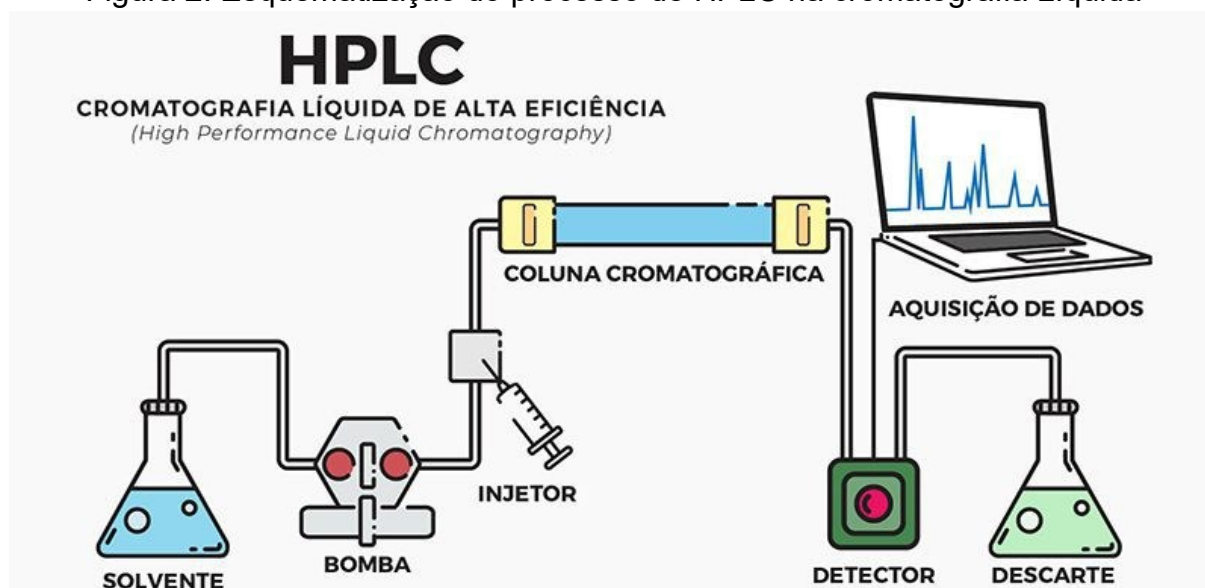
Figura 1. Analisador GC/MS. Constituído de dois compartimentos separados: um contém o GC e outro o MS.



Fonte: Redígolo, 2020

Skrzipa *et al* (2025), indica a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC/CLAE) como sendo uma técnica usada principalmente na análise para separar, identificar, detectar e quantificar substâncias ativas de diferentes amostras. Este método pode ser utilizado para garantir a pureza máxima de novas substâncias químicas, acompanhar mudanças em reações sintéticas, avaliar novas formulações e garantir a qualidade. Apresentando inúmeras vantagens por ser rápida, trazer precisão, especificidade e facilidade em seu manuseio. O esquema da figura 2, mostra o funcionamento deste processo. O solvente passa pela bomba, e em seguida a amostra é injetada sendo transferidos ambos para coluna cromatográfica, que possui o acesso a um detector.

Figura 2. Esquematização do processo de HPLC na cromatografia Líquida



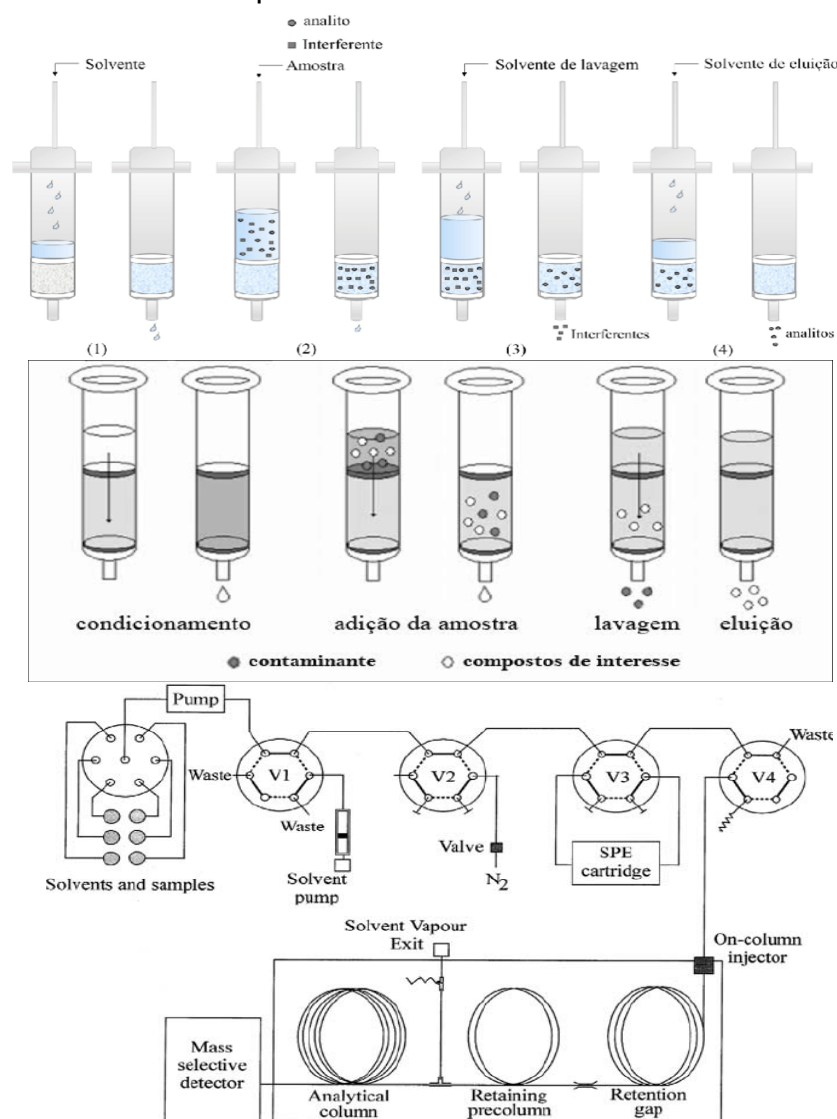
Fonte: Dong, 2006

Conforme Souza, Ferracini, Queiroz, Vilhena e Nardocci (2020), o desenvolvimento e validação de métodos baseados em extração em fase sólida (SPE) (Figura 3) seguida de análises por GC-MS/MS, pode ser utilizado em amostras diversas para detecção de pesticidas. Nesse método, a amostra líquida é percolada por um cartucho contendo o material adsorvente, onde os analitos ficam retidos enquanto interferentes são removidos. Posteriormente, os compostos alvo são eluídos com solventes adequados, resultando em uma

solução limpa e altamente concentrada, capaz de aumentar a detectabilidade da análise em até mil vezes.

Com a amostra já concentrada, ela é injetada no sistema de cromatografia gasosa, que separa os compostos de acordo com suas propriedades físico-químicas. Em seguida, a espectrometria de massas identifica e quantifica os analitos com elevada precisão. O processo de fragmentação em duas etapas (MS/MS) garante seletividade, reduz interferências e aumenta a confiabilidade dos resultados.

Figura 3. Método baseado em extração em fase sólida (SPE), seguida de análises por GC-MS/MS



Fonte: Adaptado de Nascimento, 2019; Vettorello, 2017; Koning, *et al*, 2009

Este processo permite a concentração das amostras em até mil vezes, alcançando limites de detecção compatíveis com padrões internacionais de segurança. Ferraz e colaboradores (2023) demonstraram que a combinação automatizada da cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas possibilitou a determinação simultânea de mais de sessenta pesticidas em água tratada e cinquenta e seis em água bruta, com elevada reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido por meio de revisão bibliográfica, com o objetivo de reunir, analisar e discutir produções acadêmicas e documentos relacionados ao tema em questão. As buscas foram realizadas em bases como Google Acadêmico, Revista SciELO, além de periódicos e repositórios de universidades e instituições de fomento à pesquisa.

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa e exploratória, uma vez que buscou compreender conceitos, teorias e contribuições já existentes na literatura, sem a realização de experimentos ou coleta de dados primários.

Foram consultados artigos científicos, periódicos especializados e documentos institucionais, selecionados a partir de critérios de relevância, atualidade e pertinência ao tema. Neste último quesito independente de período temporal, analisando a literatura ao longo dos anos. No total, foram utilizadas 10 fontes, que possibilitaram a construção de um panorama consistente sobre o assunto nos últimos 20 anos.

O processo de seleção envolveu a busca priorizando materiais com fundamentação teórica sólida e relação direta com os objetivos da pesquisa. Após a coleta, os textos foram organizados e analisados de forma crítica, permitindo identificar convergências, divergências e lacunas presentes na literatura.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da literatura consultada revelou que o Brasil ocupa a posição de liderança mundial no consumo de defensivos agrícolas, superando grandes potências agrícolas como China e Estados Unidos (FAO, 2017). Esse dado é recorrente nas

fontes consultadas e reforça a percepção de que o uso intensivo de pesticidas no país constitui um problema estrutural, com implicações diretas para o meio ambiente e para a saúde pública. Os trabalhos de Carvalho (2017), Geiger et al. (2010) e Woodcock et al. (2017) apontam convergentemente para o declínio de polinizadores, como as abelhas, e para a perda de biodiversidade de insetos não alvo, enquanto Mostafalou e Abdollahi (2013), destacam os efeitos crônicos da exposição prolongada em humanos, incluindo distúrbios neurológicos e endócrinos. Esses achados demonstram consenso na literatura quanto à gravidade dos impactos e revelam lacunas, sobretudo na avaliação integrada dos efeitos combinados de múltiplos pesticidas em ecossistemas aquáticos.

Quanto às metodologias analíticas, os resultados evidenciam avanços significativos. A cromatografia gasosa (CG) e sua associação com espectrometria de massas (GC-MS) são apontadas como eficazes para compostos voláteis (Santos et al., 2016; Freitas, 2020), enquanto a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC/CLAE) se mostra mais eficaz para pesticidas polares, destacando-se pela rapidez e precisão (Skrzipa et al., 2025). Além disso, métodos multirresíduos, especialmente quando combinados à extração em fase sólida (SPE), demonstraram elevada sensibilidade e capacidade de identificar simultaneamente dezenas de pesticidas em diferentes matrizes ambientais (Souza et al., 2020; Ferraz et al., 2023).

A tabela 1 explana de forma simplificada os diferentes tipos de técnicas usadas para detecção de resíduos de defensivos agrícolas em amostras ambientais ressaltando a eficácia e precisão de cada método relacionado as classes detectáveis.

Tabela 1. Comparação entre técnicas de cromatografia para identificação de defensivos agrícolas em amostras ambientais

| MÉTODO                 | EFICÁCIA                         | SENSIBILIDADE | APLICAÇÕES                                         |
|------------------------|----------------------------------|---------------|----------------------------------------------------|
| <b>CG</b>              | Compostos voláteis               | Alta          | Pesticidas organoclorados, solventes               |
| <b>GC-MS</b>           | Voláteis e semivoláteis          | Muito alta    | Identificação precisa de pesticidas em água e solo |
| <b>HPLC/CLAE</b>       | Compostos polares e não voláteis | Alta          | Herbicidas modernos e metabólitos                  |
| <b>SPE+GC/LC-MS/MS</b> | Multiresíduos                    | Altíssima     | Monitoramento simultâneo de dezenas de pesticidas  |

Fonte: Elaborado pela autora, 2026

Apesar desses avanços, a literatura indica divergências quanto à escolha da técnica mais apropriada, variando conforme a polaridade e a complexidade dos compostos analisados; dessa forma para obtermos um embasamento mais fidedigno foi feito um apanhado da funcionalidade de cada técnica, a saber:

1. Cromatografia Gasosa (CG)

Usa um gás inerte (como hélio ou nitrogênio) como fase móvel para transportar os compostos através de uma coluna revestida com fase estacionária.

Processo:

A amostra é vaporizada e injetada no sistema;

Os componentes se separam conforme interação de forma diferente com a fase estacionária;

Cada substância sai da coluna em tempos distintos (tempo de retenção).

2. Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS)

Após a separação na coluna de CG, os compostos entram no espectrômetro de massas.

Processo:

As moléculas são ionizadas (fragmentadas em íons);

Os íons são separados de acordo com sua relação massa/carga ( $m/z$ );

O detector gera um espectro de massas característico de cada composto.

3. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC/CLAE)

Usa um líquido como fase móvel, bombeado sob alta pressão através de uma coluna com fase estacionária.

Processo:

A amostra líquida é injetada;

Os compostos se separam conforme interação com a fase estacionária;

Detecção como UV-Vis, DAD (arranjo de diodos) ou espectrometria de massas identificam os analitos.

4. Extração em Fase Sólida (SPE) aplicada a análise cromatográfica

A amostra (água ou solo) passa por um cartucho com material adsorvente;

Os pesticidas ficam retidos e depois são diluídos com solvente apropriado;

Concentração dos analitos em até 1000 vezes, reduzindo interferências.;

O extrato é injetado em GC-MS/MS ou LC-MS/MS;

Permite detectar dezenas de pesticidas simultaneamente em uma única corrida analítica.

Em síntese, os resultados revelam convergências importantes, bem como o consenso sobre os impactos ambientais e a eficácia das técnicas cromatográficas; divergências, relacionadas à adequação das metodologias para diferentes tipos de compostos; e lacunas, sobretudo na avaliação integrada dos efeitos múltiplos de pesticidas e na aplicação em larga escala de metodologias multirresíduos no contexto brasileiro. Esses achados reforçam a necessidade de ampliar os estudos e fortalecer práticas de monitoramento, de modo a subsidiar políticas públicas e estratégias de produção agrícola mais seguras e sustentáveis bem como fomentar pesquisas voltadas para o tema estudado.

## CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa cooperaram de forma significativa para a compreensão das técnicas de cromatografia usadas na detecção de resíduos de defensivos agrícolas em amostras de solo e água, bem como os impactos causados pela presença destes produtos químicos e seus danos à biodiversidade e saúde humana e animal.

Embora haja diversos avanços tecnológicos na área estudada, é necessário ampliar os estudos práticos que visam avaliar os efeitos combinados de diferentes pesticidas, bem como a propagação dos resultados enfatizando o poder da divulgação científica para assim tornar mais viáveis tais técnicas, bem como a promoção de políticas públicas de cunho educacional e fiscalizatório com os responsáveis por manejar estas substâncias.

A literatura revisada demonstra que o conhecimento científico já aponta caminhos, mas também evidencia que a prática está distante de garantir proteção efetiva à saúde humana e ao meio ambiente. Portanto o investimento na ciência em pesquisas voltadas para o tema seria de grande valia para mitigar os danos causados pelo uso inconscientemente indiscriminado de substâncias agroquímicas nocivas à sustentabilidade.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da ciência e pela vida, meu Amado e Único Deus, obrigada;  
Aos meus pais queridos pelo contínuo incentivo a ser melhor em tudo;  
Ao coordenador do curso por ter me ajudado quando pensei em desistir;  
À professora orientadora por acolher meu estudo e auxiliar na escolha de tema e demais orientações;  
Aos professores do curso por todo apoio e incentivo, obrigada.

## REFERÊNCIAS

ALWSCI. **GC vs. HPLC: uma comparação abrangente e aplicações práticas.**

ALWSCI Blog, 4 jul. 2024. Disponível em: <https://pt.alwsci.com/news/gc-vs-hplc-a-comprehensive-comparison-and-pr-79976835.html>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BOMBARDI, Larissa Mies. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia.** Roma: FAO, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1074398/>. Acesso em: 9 jan. 2026.

CARVALHO, F. P. Pesticides, environment, and food safety. **Food and Energy Security**, v. 6, n. 2, p. 48–60, 2017.

DONG, Michael W. **Modern HPLC for Practicing Scientists.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?Id=ryohfnety-UC>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FERRAZ, B. S. R. et al. **Determinação de multirresíduos de agrotóxicos em água empregando SPE automatizado e GC-MS/MS: desenvolvimento, validação e monitoramento ambiental.** Belo Horizonte: UFMG, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/items/918817ae-b1eb-43f4-b98e-928226acf7d9/full>. Acesso em: 9 jan. 2026.

- FREITAS, L. C. Uso de cromatografia gasosa e líquida para monitoramento de resíduos agrícolas. **Revista Brasileira de Química Analítica**, v. 15, n. 2, p. 101–115, 2020.
- GEIGER, F. et al. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology**, v. 11, n. 2, p. 97–105, 2010.
- KONING, J. A. de; JANSSEN, H.-G.; BRINKMAN, U. A. Th. Modern methods of sample preparation for GC analysis. **Chromatographia**, v. 69, n. 1, p. 33–78, 2009. DOI: 10.1365/s10337-008-0937-3.
- KURZ, M. H.; ZANELLA, R.; ANDRADE, M. Desenvolvimento de metodologia multirresíduos para determinação de pesticidas em águas superficiais por SPE/HPLC-DAD e GC-ECD. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1125–1130, 2007.
- MOSTAFALOU, S.; ABDOLLAHI, M. Pesticides and human chronic diseases: evidences, mechanisms, and perspectives. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 268, n. 2, p. 157–177, 2013.
- NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; LIMA, Ari Clecius Alves de; BARBOSA, Pablo Gordiano Alexandre; SILVA, Vítor Paulo Andrade da. Cromatografia gasosa: teoria e prática. Fortaleza: **Imprensa Universitária da UFC**, 2019.
- PIGNATI, W.; MACHADO, J. M. A.; CABRAL, J. F. Os impactos dos agrotóxicos na saúde e no ambiente: estudo de caso em Lucas do Rio Verde, MT. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 131–142, 2007.
- REDÍGOLO, M. M.; COSTA, I.; VEGA, O. Cadernos de ciência da conservação. Volume 1: **Tintas brasileiras**. São Paulo: Scortecci, 2020.

SANTOS, M. T. dos; PONTES, M. A. N.; MORAIS, M. F. S.; SILVA NETA, M. N.; SILVA, D. D. Cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massas (CG-EM) e suas diversas aplicações. In: CONBRACIS, 2016, Campina Grande. Anais. Campina Grande: Editora Realize, 2016. Disponível em: [https://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2016/TRABALHO\\_EV055\\_MD4\\_SA3\\_ID361\\_26052016180556.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2016/TRABALHO_EV055_MD4_SA3_ID361_26052016180556.pdf). Acesso em: 9 jan. 2026.

SCORZA JÚNIOR, R. P.; PAZ, R. B. da S. Método analítico multirresíduo para determinação de agrotóxicos e seus produtos de degradação em águas superficiais. Dourados, MS: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2020. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 86).

SILVA, R. A. Aplicação da HPLC na análise de pesticidas em água potável. **Journal of Environmental Chemistry**, v. 12, n. 3, p. 45–52, 2020.

SKRZIPA, G. O.; CAMARGO, L. L.; MIYASAKI, I. S.; SOUZA, A. S. C. **O papel da cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC/CLAE) na análise de agrotóxicos em água e solo**: revisão de literatura. RGS, v. 27, n. 2, p. 944–951, 2025.

SOUZA, D. R. C. de; FERRACINI, V. L.; QUEIROZ, S. C. do N.; VILHENA, E.; NARDOCCI, A. C. Desenvolvimento e validação de um método multirresíduo para determinação de pesticidas em água utilizando extração em fase sólida (SPE) e GC-MS/MS. Dourados: **Embrapa**, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 9 jan. 2026.

VETTORELLO, G.; BRANDT, V.; DALLAZEN, M.; KUHN, D.; PRETTO ETGETON, H.; SPELLMEYER, J.; CARLESSO, W. Micropoluentes em água – o novo desafio emergente. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, 2017. DOI: 10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1410.

WOODCOCK, B. A. et al. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. **Science**, v. 356, n. 6345, p. 1393–1395, 2017.