

Proposição de método com potencial para extração e identificação de glifosato em amostras de grãos de soja

João Paulo Martins¹, Gleysson de Paula Terra²

¹IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre, Pouso Alegre, Brasil
(joao.martins@ifsuldeminas.edu.br)

²IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre, Pouso Alegre, Brasil
(gleysson.terra@ifsuldeminas.edu.br)

Resumo: O Brasil possui um protagonismo global na produção de soja e para a manutenção desta alta produtividade é necessário o uso de defensivos agrícolas como o glifosato. O presente trabalho buscou avaliar uma proposta de extração por meio de extração líquido – sólido em meio aquoso com foco no glifosato e sua identificação por meio de análise direta sem derivatização por LCMS. As amostras analisadas sem a adição de padrão não apresentaram a transição para identificação do glifosato, sendo o que sinal foi observado somente onde houve adição de padrão.

Palavras-chave: extração; glifosato; soja.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa uma posição de protagonismo no cenário agrícola global, consolidando-se como um dos principais produtores de commodities (arroz, cevada, milho, soja e trigo). No que tange à cultura da soja, o país responde por aproximadamente um terço da oferta mundial, integrando o grupo de nações que concentram a produção global desta oleaginosa, juntamente com os Estados Unidos e a Argentina (“Brasil pode superar a Índia em 2023 na produção de grãos - Portal Embrapa”, [s.d.]).

A manutenção de elevados índices de produtividade agrícola demanda o emprego de defensivos químicos para o manejo de fitossanidade. Dentre os insumos utilizados, destaca-se o glifosato, herbicida cujo uso foi intensificado pela introdução de variedades de soja geneticamente modificadas com resistência específica a este composto. Tal avanço biotecnológico otimizou o controle de plantas infestantes, viabilizando a expansão da escala produtiva

Contudo, a literatura científica ressalta a necessidade de investigar as implicações toxicológicas associadas ao glifosato. Evidências empíricas têm correlacionado a exposição a este pesticida ao desenvolvimento de neoplasias e outras condições patológicas (Lorenz et al., 2021).

Atualmente, o glifosato configura-se como o herbicida de maior aplicação global, com uso regulamentado em contextos agrícolas e urbanos em mais de uma centena de países. Sua toxicidade baseia-se na interrupção da via do xiquimato, processo metabólico vital para a síntese de aminoácidos aromáticos em vegetais,

fungos e microrganismos específicos. Devido à inexistência dessa via em sistemas animais, presumiu-se, a princípio, que o composto ofereceria riscos negligenciáveis a seres humanos e à fauna não-alvo. Todavia, a intensificação de seu emprego tem fomentado debates críticos sobre a degradação ambiental, os reflexos na saúde coletiva e a toxicidade de seus metabólitos (Tiya et al., 2026).

O glifosato [N-(fosfonometil)glicina] caracteriza-se como um herbicida sistêmico de amplo espectro, com características polares, detendo uma posição de proeminência na atividade agrícola global. Devido à sua natureza química não seletiva, o composto exerce ação fitotóxica sobre uma vasta gama de espécies vegetais, transcendendo o controle estrito de plantas infestantes. Seu mecanismo de fitotoxicidade fundamenta-se na interrupção do desenvolvimento fisiológico vegetal, atuando especificamente por meio da inibição enzimática competitiva, o que compromete a biossíntese de aminoácidos essenciais (Coutinho; Mazo, 2005; Reynozo et al., 2020). A estrutura molecular do glifosato pode ser vista na figura 1:

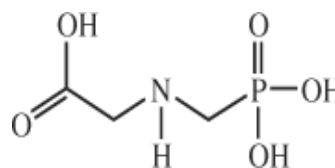


Figura 1: Fórmula estrutural do glifosato

A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), órgão vinculado à Organização Mundial da Saúde (OMS), categoriza o glifosato no Grupo 2A,

classificando-o como um agente provavelmente carcinogênico para humanos. Em relação à exposição humana, a presença de glifosato em matrizes biológicas humanas deve-se principalmente à exposição ocupacional e ao consumo residual de alimentos e água contaminados (REYNOSO et al., 2020). Em espécimes mamíferos, postula-se que o glifosato apresente uma cinética metabólica limitada, sendo predominantemente excretado de forma inalterada por via urinária. Contudo, a microbiota intestinal humana pode exercer uma função relevante em sua biotransformação, hipótese corroborada pela detecção de AMPA na corrente sanguínea de indivíduos após episódios de intoxicação aguda (Leblanc et al., 2024).

Neste sentido é importante o desenvolvimento métodos capazes de extrair e identificar resíduos do glifosato e/ou metabolitos (AMPA) em matrizes alimentares para a garantia da segurança alimentar e a mitigação de riscos à saúde pública.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram avaliados a extração de glifosato em grãos de soja em fase aquosa e sua identificação por meio de LC-MS. Conjuntamente foi avaliado a possibilidade de identificação de AMPA nas amostras usando o mesmo processo de extração e identificação. Para otimização dos compostos foram utilizadas soluções padrões de glifosato e AMPA na concentração de 500ppb. O equipamento usado foi um cromatógrafo de alta pressão com o espectro de massas LCMS – 8050 da marca Shimadzu.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros usados no cromatógrafo e espectrômetro de massas estão dispostos nas tabelas 1 e 2:

Tabela 1: Parâmetros de configuração do cromatógrafo líquido

Parâmetros do cromatógrafo	
Coluna	Shim – pack XR – ODS 100LX2.0 (P/N 228-41605-94)
Fase móvel	A: água + 0,5% de ácido fórmico B: água ultrapura
Fluxo da Fase Móvel	0,3 ml/minuto
Temperatura da coluna	40°C
Tempo total	6,0 min
Regime	100% de A por 6,0 minutos
Volume de Injeção	2µL

Tabela 2: Parâmetros de configuração do espectrômetro de massas

Parâmetros do LCMS	
Interface	ESI
Nebulizing Gas Flow	2,8 L/min
Heating gas Flow	10 L/min
Interface temperature	300°C
Dessolvation temperature	526°C
DL Temperature	250°C
Heat Block temperature	400°C
Drying Gas Flow	10 L/min

Os resultados da otimização dos padrões podem observados na tabela 3:

Tabela 3: Resultados da otimização do glifosato e AMPA

Composto	MRM (m/z)
AMPA	112,0 > 71,1
GLIFOSATO	170,1 > 93,1
	170,1 > 97,0
	170,1 > 128,95

Na tabela 3 observa-se que o processo de otimização gerou 3 transições para o glifosato para fins de monitoramento. É importante ressaltar que para o AMPA foi obtida apenas uma transição, o que dificulta o processo de identificação deste composto nas amostras.

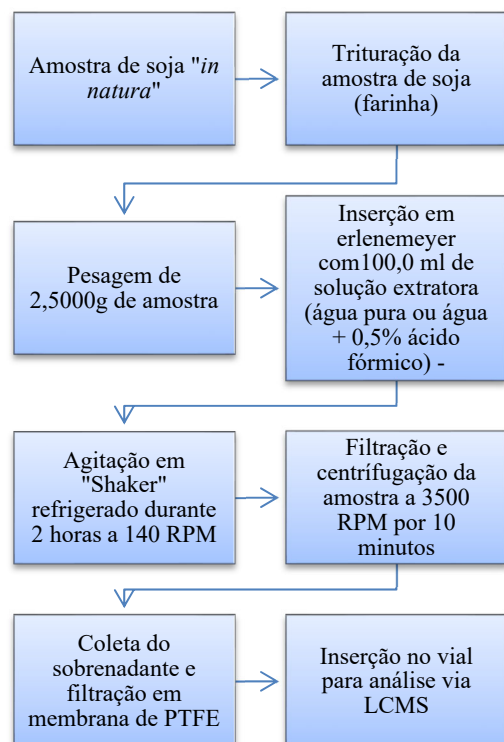
As amostras de grãos soja a granel foram obtidas em comércios da cidade de Pouso Alegre – MG, assim como a soja com rotulagem de “produto orgânico”. A amostras foram armazenadas em sacos plásticos na temperatura de 25,0°C.

O processo de trituração ocorreu com um liquidificador com tela proteção ao redor das lâminas. A farinha obtida foi armazenada a 25°C até o momento de preparo da amostra para análise. Na etapa de extração da amostra de soja orgânica e a granel foi feita a adição de padrões de AMPA e Glifosato separadamente para fins de fortificação.

A síntese do processo de tratamento proposto da amostra para extração e posterior análise via

cromatografia por espectrometria de massas pode ser vista figura 2:

Figura 3: Fluxograma de tratamento da amostra para análise por LCMS

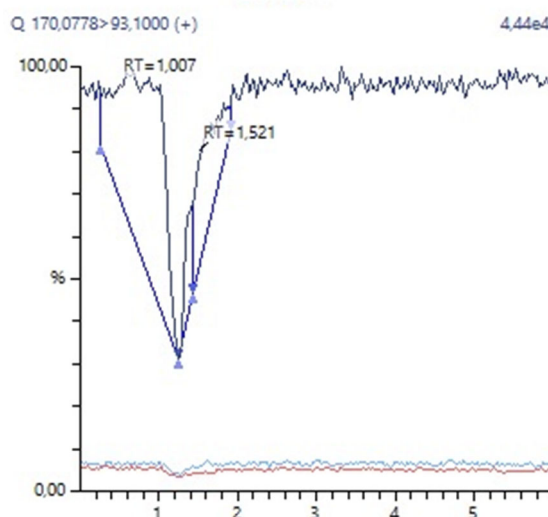


O processo de tratamento proposto para extração do glifosato e AMPA das amostras tem como base a trituração e transformação numa “farinha”, extração em fase polar (água ultrapura ou água ultrapura em meio ácido), agitação em temperatura controlada, filtração e centrifugação, coleta de sobrenadante e uma nova filtração em membrana de baixa porosidade. Esta metodologia foi adaptada de estudos para extração de glifosato (Veiga et al., 2001; Bohm et al., [s.d.]).

A figura 4 mostra uma amostra sem a adição de padrão de glifosato ou AMPA. Ressalta-se que como a coluna cromatográfica tem caráter totalmente a apolar em interação dos compostos com a fase estacionária e praticamente nula o que impossibilita, em caso de ter os compostos sua separação.

A análise de glifosato, de maneira geral, é realizada utilizando o reagente cloroformiato de 9-fluorenilmetila (FMOC-Cl) fazendo de um processo de derivatização pré-coluna, seguido de análise por cromatografia líquida (HPLC ou LC-MS/MS) (Amarante júnior et al., 2002).

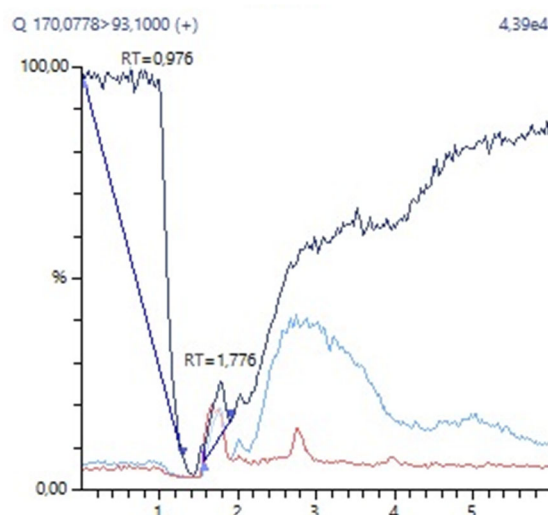
Figura 4: Cromatograma obtido em amostra sem adição de padrão.



As linhas inferiores representam a transição que está sendo monitorada. No caso 170,1 > 93,1. Como se pode observar não há aumento de sinal destas linhas o que indica ausência de glifosato.

A figura 5 mostra uma amostra com a adição de padrão de glifosato.

Figura 5: Cromatograma obtido em amostra com adição de padrão de glifosato LCMS



Na figura 5 aparecem uma das transições que permitem a identificação do glifosato por meio das linhas inferiores (vermelha e azul).

Cabe ressaltar que não foi detectado possíveis sinais de AMPA nas amostras mesmo com a adição de padrão.



CONCLUSÃO

A metodologia de tratamento da amostra para extração de glifosato tem potencial para ser usada como meio de recuperação deste composto e a análise por LC-MS é capaz de identificar, nestas condições, o glifosato. É importante ressaltar que a utilização de uma coluna apolar não propicia uma separação adequada de compostos tendo em vista a natureza hidrofílica dos compostos, sendo necessária uma coluna polar para aplicação com fins qualitativos e quantitativos. As amostras de soja analisadas, sem a adição de padrão, não apresentaram sinais das substâncias.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS pelo financiamento e suporte.

REFERÊNCIAS

AMARANTE JÚNIOR, O. P. DE et al. Métodos de extração e determinação do herbicida glifosato: breve revisão. **Química Nova**, v. 25, n. 3, p. 420–428, 2002.

BOHM, G. et al. **Resíduos de glifosato e teores de isoflavonas em grãos de soja geneticamente modificada** Autor(es). [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www2.ufpel.edu.br/cic/2007/cd/pdf/CA/CA_00288.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2026.

Brasil pode superar a Índia em 2023 na produção de grãos - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73611968/brasil-pode-superar-a-india-em-2023-na-producao-de-graos>>. Acesso em: 26 out. 2025.

COUTINHO, C. F. B.; MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 1038–1045, 2005.

LEBLANC, P.-O. et al. The impact of the herbicide glyphosate and its metabolites AMPA and MPA on the metabolism and functions of human blood neutrophils and their sex-dependent effects on reactive oxygen species and CXCL8/IL-8 production. **Environmental Research**, v. 252, p. 118831–118831, 2024.

LORENZ, V. et al. Editorial: Glyphosate Herbicide as Endocrine Disruptor and Probable Human Carcinogen: Current Knowledge and Future Direction. **Frontiers in Endocrinology**, v. 12, p. 772911–772911, 2021.

REYNOSO, E. C. et al. Determination of Glyphosate in Water from a Rural Locality in México and Its Implications for the Population Based on Water Consumption and Use Habits. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 19, p. 7102, 2020.

TIYA, L. L. et al. Validated LC-MS/MS method for the quantification of glyphosate and its metabolites in human serum: A biomonitoring study in farming intensive regions of the Western Cape, South Africa. **Talanta**, v. 305, p. 129648, 2026.

VEIGA, F. et al. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. **Science of The Total Environment**. v. 271, n. 1-3, p. 135–144, 23 abr. 2001.