POTENCIAL DO USO DE ÓLEOS MINERAL E VEGETAL EM CALDA HERBICIDA SOB AGITAÇÃO À BASE DE GLYPHOSATE FORMULADO COMO CONCENTRADO SOLÚVEL

Leonardo Peres Moreira, João Vitor de Aguiar Paulucio, Isabele Andrade Garcia, Gabriel Vieira Cordeiro, João Victor Gomes Ramos, Samuel de Assis Silva.

Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de ciências agrárias e Engenharias, Alto universitário s/n - 29500-000 - Alegre, ES - Brasil, leo.peres.moreira@hotmail.com, joao.paulucio@edu.ufes.br, isabeleandradegarcia@gmail.com, gabriel.v.cordeiro@edu.ufes.br, Joaogomesr12@gmail.com, samuel.silva@ufes.br.

Resumo
O uso de adjuvantes em caldas de pulverização pode modificar suas propriedades físico-químicas e favorecer a eficiência da aplicação, entretanto, a associação entre diferentes produtos pode ocasionar incompatibilidades e comprometer a homogeneidade da mistura. Nesse contexto, a agitação da calda é importante para manter seus componentes dispersos durante a pulverização. Objetivou-se avaliar a compatibilidade e a estabilidade físico-química de calda à base de glyphosate, formulado como concentrado solúvel, isolado e associado a óleos mineral e vegetal, sob agitação contínua. As caldas foram mantidas sob agitação por duas horas, seguidas de 10 minutos de repouso, sendo avaliadas quanto às características visuais, pH e condutividade elétrica. O glyphosate isolado apresentou maior estabilidade física, enquanto a separação de óleo ocorreu nas misturas com os adjuvantes, sendo mais frequente com o óleo vegetal. Não houve formação de creme, e o pH e a condutividade elétrica não diferiram significativamente entre os tratamentos. Conclui-se que a agitação reduziu manifestações de instabilidade, porém não garantiu a compatibilidade das caldas contendo os óleos.
Palavras-chave: Tecnologia de aplicação. Adjuvantes. Agitação.

Área do Conhecimento: Ciências agrárias – Agronomia.

Introdução

As plantas daninhas são importantes fatores bióticos capazes de limitar as produções agrícolas, podendo interferir no crescimento e desenvolvimento das culturas e gerar perdas de produtividade. Nesse escopo, o controle químico com o uso de herbicidas é uma das estratégias mais eficientes e economicamente viáveis para o controle dessas espécies, especialmente em sistemas de produção de maior escala (Horvath *et al*., 2023). No entanto, a utilização desses produtos deve ser de forma adequada, uma vez que a eficiência não depende apenas do ingrediente ativo, mas também das combinações relacionadas ao preparo e à aplicação da calda (Das *et al*., 2024).

Entre os herbicidas usados no manejo de plantas daninhas, o glyphosate apresenta ampla utilização devido ao seu amplo espectro de ação, eficácia e versatilidade no uso (Galli 2005). O ingrediente ativo pode estar presente em diferentes formas salinas e tipos de formulação. Entre estas encontra-se o concentrado solúvel (SL), caracterizado por constituir uma formulação líquida homogênea destinada à diluição em água (European Food Safety Authority *et al*., 2023). Esse produto é comercializado no Brasil de quatro formas distintas de ingredientes ativos, são elas: Glifosato- isopropilamônio, Glifosato-sal de dimetilamina, Glifosato-sal de potássio e Glifosato- sal de amônio (Anvisa, 2019).

Com o objetivo de melhorar as características dos produtos fitossanitários e a eficiência da aplicação, adjuvantes podem ser adicionados às misturas. Entre eles, os óleos mineral e vegetal podem alterar as propriedades físico-químicas como tensão superficial, ângulo de contato, pH e condutividade elétrica, além de interferir no espectro de gotas e no potencial de deriva (Tavares; Cunha, 2023). Segundo estudos realizados por Basílio *et al*. (2024), ao avaliarem adjuvantes à base de óleos mineral e vegetal, verificaram a redução da tensão superficial e do ângulo de contato e alterações no tamanho das gotas. Porém, os efeitos dependem das características do adjuvante e de sua interação com os demais componentes da mistura, não sendo possível generalizar o comportamento de todos os produtos pertencentes à mesma categoria.

Nem sempre a associação de diferentes produtos em uma mesma calda de pulverização apresenta apenas vantagens operacionais, muitas das vezes essa interação pode ocasionar incompatibilidades. Essas interações podem modificar as propriedades físico-químicas da calda e favorecer fenômenos como floculação, sedimentação, separação de fases, formação de creme e separação de óleo, comprometendo sua homogeneidade e, consequentemente, a qualidade da aplicação (Gandini *et al*., 2020). Diversos fatores podem influenciar a compatibilidade das misturas, como a composição das caldas, as doses de produtos e as condições empregadas durante o preparo e aplicação (Costa *et al*., 2020).

Nesse sentido, a agitação de caldas assume um importante papel durante o processo de pulverização, devido ao fato de que pode contribuir para a correta dispersão dos componentes e reduzir a incompatibilidade física (Ribeiro *et al*., 2020). Para minimizar problemas de compatibilidade principalmente em misturas contendo glyphosate e atrazine, a agitação da calda antes e durante a aplicação é crucial (Costa *et al.,* 2020). De acordo com Ribeiro *et al*. (2020), verificaram que a compatibilidade físico-química entre produtos fitossanitários e adjuvantes pode depender do período de repouso da mistura, ressaltando a importância da manutenção da agitação antes e durante a pulverização. Dessa forma, objetivou-se com este presente trabalho avaliar a compatibilidade e a estabilidade físico-química de calda herbicida à base de glyphosate (sal de potássio 58,8 % m/v), formulado como concentrado solúvel, isolado e associado a óleos mineral e vegetal, quando submetida à agitação contínua.

Metodologia

O experimento foi conduzido no Laboratório de Recursos Hídricos, localizado na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) Campus de Alegre.

As variáveis analisadas compreenderam aquelas que descrevem a qualidade da calda, a saber: potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, homogeneidade, floculação, sedimentação, separação de fases, presença de grumos, separação de óleo, formação de cristais, formação de creme e formação de espuma.

As avaliações de compatibilidade e estabilidade físico-química de calda foram baseadas na metodologia descrita na NBR 13875. Para todos os produtos, considerou-se a dosagem máxima recomendada, de acordo com o indicado no rótulo (óleos) e na bula (herbicida). Os ensaios foram realizados para um volume total de calda de 30 L.ha-1. Após a definição desses parâmetros, os volumes dos produtos foram ajustados proporcionalmente para 250 mL de calda. As doses dos produtos utilizadas para a realização do experimento estão evidenciadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Doses dos produtos utilizados para a realização do experimento ajustadas para confecção de 250 mL de calda.

Produto	**Dose máxima recomendada**	**Dose ajustada (250 mL de calda)**
Glyphosate SL (sal de potássio)	4,5 L.ha^{-1}	37,5 mL
Óleo mineral	0,50 % v/v	1,25 mL
Óleo vegetal	0,50 % v/v	1,25 mL

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Para confecção das caldas, foram usados erlenmeyers de 500 mL. Primeiramente, adicionou-se cerca de 50 mL de água no erlenmeyer. Em seguida, foi adicionado o adjuvante, dosado com o auxílio de uma pipeta. Posteriormente, foi adicionado o herbicida, dosado em uma proveta de 50 mL, e completou-se o volume de 250 mL com água padrão. Os erlenmeyers preenchidos com calda em volume de 250 mL foram mantidos sob agitação constante em mesa agitadora por 2 horas, seguido de 10 minutos de repouso.

Para a determinação das características físico-químicas da mistura, as caldas foram avaliadas visualmente e, quando possível, mensurado com paquímetro, segundo a presença ou ausência de: a) homogeneidade / heterogeneidade - floculação, sedimentação, separação de fases, formação de grumos, separação de óleo, formação de cristais e formação de creme, e; b) formação de espuma. A presença ou não de grumos foi avaliada quando submetida a calda à passagem em peneira de abertura

nominal de 149 µm. Com relação às propriedades químicas, foram medidos o potencial hidrogeniônico (pH) e a condutividade elétrica (CE) das caldas.

Para avaliação das variáveis quantitativas, são elas pH e CE, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado 3 x 3, sendo três composições de calda e três repetições. Para os resultados de pH e CE, os dados foram analisados pela análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados

Após as avaliações visuais, os resultados quanto à alteração das propriedades físico-químicas das caldas estão plotados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características avaliadas para o estudo de compatibilidade físico-química das caldas do experimento

Glyphosate										
Repetição	Hom.	Flo.	Sed.	S. Fases	Gru.	S. Óleo	Cri.	Cre.	Esp. (mm)	Gru. Peneira 149 µm
1	-	-	-	-	-	-	-	-	anel	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	anel	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	anel	-
Glyphosate + óleo mineral										
Repetição	Hom.	Flo.	Sed.	S. Fases	Gru.	S. Óleo	Cri.	Cre.	Esp. (mm)	Gru. Peneira 149 µm
1	-	-	-	-	-	x	-	-	anel	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	4,51	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	anel	-
Glyphosate + óleo vegetal										
Repetição	Hom.	Flo.	Sed.	S. Fases	Gru.	S. Óleo	Cri.	Cre.	Esp. (mm)	Gru. Peneira 149 µm
1	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	x	-	-	anel	-
3	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-

Hom = Homogeneidade. Flo = Floculação. S Fases = Separação de fases. Gru = Presença de grumos. Cri = Formação de cristais. Cre = Formação de creme. Esp = Presença de espuma. Gru Peneira = Presença de grumos em peneira de 149 µm. (x) = presença do parâmetro avaliado. (-) = ausência do parâmetro avaliado
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

As médias dos valores de pH e condutividade elétrica dos tratamentos estão evidenciadas na Tabela 3.

Tabela 3 – valores médios de pH e condutividade elétrica dos tratamentos experimentais

Composição	**pH**	**Condutividade elétrica (mS.cm)**
Glyphosate	4,26	23,63
Glyphosate + óleo mineral	4,42	23,23
Glyphosate + óleo vegetal	4,41	21,57

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Discussão

Os resultados obtidos no experimento evidenciam a importância da agitação na manutenção da estabilidade física das caldas de pulverização. A movimentação contínua favorece a dispersão dos componentes da mistura e reduz a formação de heterogeneidades durante o período de aplicação,

embora não seja necessariamente capaz de eliminar todas as manifestações de incompatibilidade (Pessoa *et al*., 2024). Tavares e Cunha (2023), ao avaliarem misturas contendo glyphosate e diferentes adjuvantes, observaram instabilidades físicas durante o repouso, porém verificaram que as caldas retornaram à condição de estabilidade após a agitação, ressaltando que a manutenção de um sistema de agitação adequado é necessária para preservar sua estabilidade ao longo do tempo. No presente estudo, a agitação também favoreceu a manutenção das características físicas das caldas, entretanto, a ocorrência de separação de óleo nos tratamentos com adjuvantes demonstra que a agitação, apesar de reduzir manifestações de instabilidade, não garante a compatibilidade entre os componentes da mistura.

A separação de óleo observada pode ser atribuída à baixa miscibilidade entre a fase oleosa e a fase aquosa da calda, tornando necessária a presença de agentes emulsificantes capazes de manter as gotículas de óleo dispersas no meio (Niu et al., 2023). Quando a emulsificação não é suficientemente estável, essas gotículas podem se aproximar e coalescer, favorecendo o aparecimento de uma fase oleosa macroscopicamente distinta (Langevin, 2023). A estabilidade de emulsões óleo em água utilizadas em formulações de produtos fitossanitários é fortemente dependente das características do sistema emulsificante, especialmente do balanço hidrofílico-lipofílico e da concentração dos surfactantes, os quais interferem diretamente no tamanho das gotículas e na resistência da emulsão à separação (Feng et al., 2018). Dessa forma, a maior separação observada na calda contendo óleo vegetal sugere que, nas condições avaliadas, essa formulação originou uma emulsão menos estável em associação com o glyphosate. Esse comportamento não deve ser atribuído exclusivamente à origem vegetal do óleo, mas às características específicas de sua formulação e de seu sistema emulsificante, bem como à interação desses componentes com os demais constituintes da calda (Feng et al., 2018).

Outro aspecto relevante foi a ausência de formação de creme em todos os tratamentos submetidos à agitação constante. A formação de creme corresponde ao acúmulo de gotículas da fase dispersa em uma região da emulsão, normalmente favorecido durante o repouso pela diferença de densidade entre as fases e pela migração das gotículas de óleo (Niu *et al*., 2023). A agitação promove a redistribuição contínua dessas gotículas no volume da calda, dificultando a formação de uma camada macroscopicamente definida (Pessoa et al., 2024). Pessoa *et al*. (2024), ao avaliarem a compatibilidade físico-química de diferentes misturas de produtos agrícolas, verificaram que o período de repouso influencia diretamente a manifestação de incompatibilidades e destacaram a necessidade de agitação constante antes e durante a aplicação para determinadas misturas. Assim, a ausência de creme após o período de agitação empregado neste estudo reforça a importância de sistemas de agitação eficientes nos tanques de pulverização para limitar a estratificação dos componentes e favorecer a manutenção da homogeneidade física da calda.

Em relação às propriedades químicas, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos para o pH ($p = 0,482$) nem para a condutividade elétrica ($p = 0,0703$). Os valores médios de pH foram de 4,26 para glyphosate isolado, 4,42 para glyphosate + óleo mineral e 4,41 para glyphosate + óleo vegetal, enquanto a condutividade elétrica apresentou médias de 23,63, 23,23 e 21,57 mS cm^{-1}, respectivamente. A proximidade desses valores indica que, nas condições do experimento, a inclusão dos adjuvantes oleosos não promoveu alterações suficientes no equilíbrio ácido-base ou na concentração e mobilidade dos íons presentes para que fossem detectadas diferenças estatísticas (Cunha *et al*., 2017). Além disso, a utilização da mesma concentração de glyphosate e de água-padrão para todos os tratamentos contribuiu para reduzir fontes externas de variação dessas propriedades, visto que características da água de pulverização, como pH, dureza e concentração de íons, podem interferir nas propriedades das caldas herbicidas (Daramola *et a*l., 2022). Resultado semelhante foi observado por Ferreira *et a*l. (2020), em que a adição de um adjuvante contendo éster metílico de óleo de soja não modificou o pH das misturas herbicidas avaliadas, enquanto tratamentos contendo glyphosate apresentaram valores elevados de condutividade elétrica sem diferenças consideráveis entre determinadas combinações. Esses resultados demonstram que alterações físicas decorrentes da inclusão de adjuvantes oleosos não implicam, necessariamente, alterações significativas no pH e na condutividade elétrica da calda quando submetida à agitação constante (Cunha *et al*., 2017).

Conclusão

Dessa forma, a calda contendo apenas glyphosate apresentou maior estabilidade física, sem ocorrência de separação de óleo, enquanto as associações com os óleos mineral e vegetal não se mostraram plenamente compatíveis, devido à ocorrência dessa separação, mais evidente no tratamento com óleo vegetal. A agitação impediu a formação de creme, porém não eliminou completamente as manifestações de instabilidade física das caldas contendo os adjuvantes. O pH e a condutividade elétrica permaneceram estatisticamente semelhantes entre os tratamentos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Nota Técnica nº 12/2020: conclusões da reavaliação do glifosato após a consolidação das contribuições da Consulta Pública nº 613, de 28 de fevereiro de 2019**. Brasília, DF: Anvisa, 2020. 13 p. Disponível em: https://sei.anvisa.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=1402455. Acesso em: 27 jul. 2026.

COSTA, L. L. *et al*. Compatibilidade físico-química de diferentes doses e misturas de herbicidas. **Weed Control Journal**, v. 19, n. 3, p. e713 (1-8), 2020.

CUNHA, J. P. A. R. da; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017.

DARAMOLA, O. S. *et al*. Spray water quality and herbicide performance: a review. **Weed Technology**, v. 36, n. 6, p. 758-767, 2022.

DAS, T. K. *et al*. Herbicides use in crop production: An analysis of cost-benefit, non-target toxicities and environmental risks. **Crop protection**, v. 181, p. 106691, 2024.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA) *et al*. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate. **EFSA journal**, v. 21, n. 7, p. e08164, 2023.

FENG, J. *et al*. Formulation of oil-in-water emulsions for pesticide applications: impact of surfactant type and concentration on physical stability. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 22, p. 21742-21751, 2018.

FERREIRA, P. H. U. *et al.* Physicochemical properties, droplet size and volatility of dicamba with herbicides and adjuvants on tank-mixture. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 18833, 2020.

GALLI, A. J. B. *et al*. Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura. 2005.

GANDINI, E. M. M. *et a*l. Compatibility of pesticides and/or fertilizers in tank mixtures. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, p. 122152, 2020.

HORVATH, D. P. *et al*. Weed-induced crop yield loss: a new paradigm and new challenges. **Trends in plant science**, v. 28, n. 5, p. 567-582, 2023.

LANGEVIN, D. Recent advances on emulsion and foam stability. **Langmuir**, v. 39, n. 11, p. 3821-3828, 2023.

NIU, H. *et a*l. Multiscale combined techniques for evaluating emulsion stability: A critical review. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 311, p. 102813, 2023.

PESSOA, P. H. *et al*. Chemical characteristics and compatibility of mixtures at different agricultural application rates. **Brazilian Journal of Science**, v. 3, n. 7, p. 89-114, 2024.

RIBEIRO, R. P. M. *et al*. Compatibilidade físico-química de caldas fungicidas e adjuvantes. 2020.

TAVARES, R. M.; CUNHA, J. P. A. R. da. Pesticide and adjuvant mixture impacts on the physical–chemical properties, droplet spectrum, and absorption of spray applied in soybean crop. **AgriEngineering**, v. 5, n. 1, p. 646-659, 2023.