



## EFEITOS DO SULFENTRAZONE NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E FITOTOXICIDADE EM PLANTAS DE EUCALIPTO

*Effects of sulfentrazone in weed control and phytotoxicity in eucalyptus plants*

*Efectos de la sulfentrazone en el control de malezas y fitotoxicidad en plantas de eucalipto*

Luis Felipe Oliveira Ribeiro <sup>1\*</sup>, Jackson Roberto Dias Ribeiro <sup>2</sup>, Antônio Miguel Harkbart de Almeida <sup>3</sup>, João Victor Oliveira Ribeiro <sup>4</sup>, Ismael Lourenço de Jesus Freitas <sup>5</sup>, & Edney Leandro da Vitória <sup>6</sup>

<sup>1 2 3 4 6</sup> Universidade Federal do Espírito Santo <sup>5</sup> Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

<sup>1\*</sup> luis.f.ribeiro@edu.ufes.br <sup>2</sup> jacksonrdr@msn.com <sup>3</sup> antonio.m.almeida@edu.ufes.br <sup>4</sup> joao.o.ribeiro@edu.ufes.br <sup>5</sup> ismaelljf@yahoo.com.br <sup>6</sup> edney.vitoria@ufes.br

### ARTIGO INFO.

Recebido: 23.12.2025

Aprovado: 26.05.2026

Disponibilizado: 18.06.2026

**PALAVRAS-CHAVE:** *Eucalyptus* spp., tecnologia de aplicação, eficácia, fitotoxicidade, herbicidologia.

**KEYWORDS:** *Eucalyptus* spp., application technology, efficacy, phytotoxicity, herbicidology.

**PALABRAS CLAVE:** *Eucalyptus* spp., tecnología de aplicación, eficacia, fitotoxicidad, herbicidología.

\*Autor Correspondente: Ribeiro, L. F. O.

### RESUMO

O controle químico das plantas daninhas é considerado uma das práticas mais onerosas na silvicultura de eucalipto, causando inúmeros danos diretos e indiretos à cultura. Outrora, doses de herbicidas e taxas de aplicação superestimadas diminuem a eficiência da aplicação e a eficácia do produto no alvo desejado. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia da aplicação do herbicida sulfentrazone em diferentes doses e taxas de aplicação em pré-emergência no controle de plantas daninhas, além de investigar a fitotoxicidade causada em clones de *E. grandis* x *E. urophylla* na fase inicial das plantas. A área experimental foi implantada com o clone *E. grandis* x *E. urophylla*. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 5 + 2, sendo duas taxas de aplicação (150 e 200 L ha<sup>-1</sup>), cinco doses do herbicida sulfentrazone (400, 500, 600, 700 e 800 g ha<sup>-1</sup>), além de um tratamento adicional com o herbicida flumioxazina (padrão) e outro tratamento sem aplicação de herbicida (controle), com quatro repetições. Os resultados apresentaram que a maior dose (800 g ha<sup>-1</sup>) apresentou maior fitotoxicidade nas plantas de eucalipto. As taxas de aplicação não apresentaram diferença significativa no controle das plantas daninhas. As doses de sulfentrazone de 400 a 600 g ha<sup>-1</sup> podem ser utilizadas como pré-emergente na fase inicial da cultura do eucalipto.

### ABSTRACT

Chemical weed control is considered one of the costliest practices in eucalyptus silviculture, causing numerous direct and indirect impacts on crop development. Furthermore, overestimated herbicide doses and application rates can reduce application efficiency and compromise product effectiveness on the intended target. This study aimed to evaluate the efficacy of sulfentrazone applied at different

doses and spray volumes in pre-emergence weed control, as well as to investigate the phytotoxicity caused to *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clones during the initial growth stage. The experimental area was established with the *E. grandis* x *E. urophylla* clone. The experiment was conducted in a randomized complete block design using a 2 x 5 + 2 factorial arrangement, consisting of two application rates (150 and 200 L ha<sup>-1</sup>) and five sulfentrazone doses (400, 500, 600, 700, and 800 g ha<sup>-1</sup>), plus an additional treatment with flumioxazin (standard treatment) and another treatment without herbicide application (control), with four replications. The results showed that the highest sulfentrazone dose (800 g ha<sup>-1</sup>) caused the greatest phytotoxicity in eucalyptus plants. Application rates did not significantly affect weed control. Sulfentrazone doses ranging from 400 to 600 g ha<sup>-1</sup> can be used as a pre-emergence herbicide during the initial establishment phase of eucalyptus plantations

### RESUMEN

El control químico de malezas se considera una de las prácticas más costosas en la silvicultura de eucalipto, causando numerosos daños directos e indirectos al cultivo. A menudo, las dosis y tasas de aplicación de herbicidas sobreestimadas disminuyen la eficiencia de la aplicación y la efectividad del producto en el objetivo deseado. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de la aplicación del herbicida sulfentrazone en diferentes dosis y tasas de aplicación para el control de malezas en preemergencia, así como investigar la fitotoxicidad causada en clones de *E. grandis* x *E. urophylla* en las primeras etapas de crecimiento de la planta. El área experimental se plantó con el clon de *E. grandis* x *E. urophylla*. El experimento se realizó en bloques aleatorizados, en un esquema factorial 2 x 5 + 2, con dos dosis de aplicación (150 y 200 L ha<sup>-1</sup>), cinco dosis del herbicida sulfentrazone (400, 500, 600, 700 y 800 g ha<sup>-1</sup>), además de un tratamiento adicional con el herbicida flumioxazin (estándar) y otro tratamiento sin aplicación de herbicida (control), con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que la dosis más alta (800 g ha<sup>-1</sup>) presentó mayor fitotoxicidad en plantas de eucalipto. Las dosis de aplicación no mostraron una diferencia significativa en el control de malezas. Las dosis de sulfentrazone de 400 a 600 g ha<sup>-1</sup> pueden utilizarse como herbicida preemergente en la fase inicial del cultivo de eucalipto.

### INTRODUÇÃO

O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) constitui a principal espécie florestal cultivada no mundo em razão de sua elevada importância econômica e da ampla utilização de seus produtos e

subprodutos, incluindo madeira, fibras, celulose, energia e óleos essenciais. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), os plantios brasileiros apresentam um dos maiores potenciais produtivos globais, com produtividade média de  $34,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Em 2024, a área de florestas plantadas no Brasil totalizou 10,52 milhões de hectares, dos quais 77,0% corresponderam a plantios de eucalipto e 18,6% a plantios de pinus, concentrados principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (IBÁ, 2025).

O desempenho produtivo de florestas de rápido crescimento resulta da interação entre fatores genéticos, ambientais e práticas silviculturais adequadas, incluindo o manejo fitossanitário voltado ao controle de pragas, doenças e plantas daninhas (Ribeiro et al., 2025). Entre esses desafios, as plantas daninhas destacam-se pela ocorrência contínua ao longo de todo o ciclo da cultura, desde o pré-plantio até a colheita. Além de representarem um dos principais componentes dos custos operacionais da silvicultura, essas espécies exercem interferências diretas por competição por água, luz e nutrientes, alelopatia e parasitismo, bem como efeitos indiretos ao dificultarem operações silviculturais e atuarem como hospedeiras de pragas, patógenos e nematoides (Barroso & Murata, 2021).

A interferência das plantas daninhas é particularmente crítica durante a fase de estabelecimento dos povoamentos, compreendida entre o transplântio das mudas e o primeiro ano após o plantio (Garlet & Costa, 2014). Nesse período, a competição pode comprometer significativamente o crescimento inicial das árvores, resultando em perdas de produtividade de até 50% e reduções superiores a 90% na rentabilidade dos empreendimentos florestais (Pereira & Alves, 2015).

O controle químico é amplamente empregado na silvicultura do eucalipto por possibilitar o tratamento de grandes áreas em curto intervalo de tempo. Entretanto, o número de herbicidas registrados para essa cultura ainda é relativamente limitado. Entre os produtos pré-emergentes utilizados na fase inicial do cultivo destaca-se o sulfentrazone, eficiente no controle de espécies monocotiledôneas e dicotiledôneas. Esse herbicida apresenta elevada persistência no ambiente, com meia-vida média de aproximadamente 150 dias, podendo variar entre 121 e 302 dias em função das condições edafoclimáticas (Shaner, 2014; Gehrke et al., 2020).

O sulfentrazone possui ação sistêmica, sendo absorvido por raízes, caules e folhas de plantas jovens. Seu mecanismo de ação está associado à inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), comprometendo processos essenciais do metabolismo vegetal (Barroso e Murata, 2021). Na cultura do eucalipto, sua aplicação pode ser realizada antes ou após o transplântio das mudas. Contudo, a fitotoxicidade pode ser frequente, principalmente quando são utilizadas doses superiores às recomendadas ou quando a tecnologia de aplicação é utilizada inadequadamente.

Nesse contexto, os princípios da tecnologia de aplicação tornam-se fundamentais para maximizar a eficácia dos herbicidas e garantir o correto posicionamento do produto sobre o alvo biológico. Além de favorecer o uso racional dos insumos, a adoção de práticas adequadas de aplicação reduz perdas por deriva, otimiza os custos operacionais e contribui para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Contiero et al., 2018). Na cultura do eucalipto, as aplicações são realizadas predominantemente por pulverizadores terrestres, incluindo equipamentos costais, manuais ou elétricos, e pulverizadores tratorizados de barra ou

autopropelidos. A qualidade da aplicação depende da adequada regulação e calibração dos equipamentos, bem como da seleção da ponta de pulverização, pressão de trabalho, faixa de aplicação, taxa de aplicação e das condições meteorológicas durante a operação (Ribeiro et al., 2022; Ribeiro et al., 2023a; Richardson et al., 2020; Vitória et al., 2023).

O volume de calda, conhecido também como taxa de aplicação, exerce influência direta sobre os custos operacionais devido aos tempos de reabastecimento, além de afetar a capacidade operacional dos pulverizadores, frequentemente limitada pelas características do terreno. De modo geral, a utilização de menores volumes de aplicação é desejável por aumentar a eficiência operacional. Entretanto, reduções excessivas podem alterar o espectro de gotas e aumentar o risco de deriva sob condições meteorológicas desfavoráveis (Ribeiro et al., 2023b). Por outro lado, volumes mais elevados nem sempre resultam em maior eficácia de controle (Wang et al., 2019; Vitória et al., 2023). Santos et al. (2007), ao avaliarem os efeitos da deriva de glifosato em clones de eucalipto, observaram aumento progressivo dos sintomas de injúria, evidenciando a relação entre a intensidade dos danos e o incremento da deposição do produto sobre as plantas.

A definição da dose adequada está intimamente relacionada à escolha do volume de aplicação, variável frequentemente superestimada nas operações de campo. O equilíbrio entre esses fatores é essencial para maximizar a eficácia dos herbicidas no controle das plantas daninhas e, simultaneamente, minimizar os riscos de fitotoxicidade à cultura. Apesar de sua relevância prática, ainda são escassos os estudos que abordam a interação entre dose e volume de aplicação de herbicidas em povoamentos de eucalipto. Diante desse cenário, foram formuladas as seguintes hipóteses: (i) a eficácia do sulfentrazone no controle de plantas daninhas é influenciada pelo volume de aplicação adotado; e (ii) a fitotoxicidade causada pelo sulfentrazone na fase inicial do cultivo aumenta em função da elevação da dose aplicada.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do herbicida sulfentrazone, aplicado em diferentes doses e volumes de calda, no controle pré-emergente de plantas daninhas, bem como quantificar os efeitos fitotóxicos sobre clones de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura.

## METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em uma área de cultivo comercial localizada no município de Aracruz, Espírito Santo, Brasil (19°48' S; 40°13' W). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical com inverno seco, apresentando estação seca durante o outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão (Alvares et al., 2013).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo distrófico, de textura franco argilo-arenosa, caracterizado por elevada acidez, teor moderado de matéria orgânica e composição granulométrica média de 64,0% de areia, 7,0% de silte e 29,0% de argila (Tabela 1). A área apresenta relevo plano a suavemente ondulado, altitude média de 60 m, temperatura média anual de 24,4 °C e precipitação média anual de 1.157 mm. Durante o período experimental, compreendido entre agosto e novembro, foram monitoradas as condições pluviométricas da região. Nesse intervalo, a precipitação acumulada foi de aproximadamente 103,0 mm, distribuída ao longo dos quatro meses de avaliação.

**Tabela 1.** Características químicas do solo da área experimental

| Amostra<br>(cm) | pH  | MO<br>dag kg <sup>-1</sup> | P<br>mg dm <sup>-3</sup> | K<br>mg dm <sup>-3</sup> | Ca  | Mg  | H + Al<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | SB  | (t) | T   | V    | m    |
|-----------------|-----|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----|-----|----------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|
| 0-20            | 4.5 | 2.5                        | 4.0                      | 33.0                     | 1.3 | 0.3 | 6.8                                          | 1.8 | 2.8 | 8.6 | 21.0 | 37.0 |

Fonte: Autores (2025).

O levantamento fitossociológico foi realizado por meio do método do quadrado inventário (moldura de 1.0 x 1.0 m), lançado aleatoriamente em 10 locais na área de estudo. Em cada quadro amostrado, as plantas foram identificadas, quantificadas e classificadas as plantas daninhas das classes dicotiledôneas e monocotiledôneas. Dentre dicotiledôneas destacam-se as famílias Rubiaceae, Euphorbiaceae e Asteraceae; na classe das monocotiledôneas destaca-se a família Poaceae (Tabela 2).

**Tabela 2.** Principais espécies de plantas daninhas no local do experimento

| Espécie                          | Nome comum          | Família        |
|----------------------------------|---------------------|----------------|
| <b>Dicotiledôneas</b>            |                     |                |
| <i>Richardia brasiliensis</i>    | Poaia               | Rubiaceae      |
| <i>Chamaesyce hyssopifolia</i>   | Erva-de-andorinha   | Euphorbiaceae  |
| <i>Melampodium divaricatum</i>   | Flor-de-ouro        | Asteraceae     |
| <i>Spermacoce latifolia</i>      | Erva-de-lagarto     | Rubiaceae      |
| <i>Croton lobatus</i> L.         | Mandioquinha        | Euphorbiaceae  |
| <i>Commelina benghalensis</i> L. | Trapoeraba          | Commelinaceae  |
| <i>Pyllanthus niruri</i> L.      | Arrebenta-pedra     | Phyllanthaceae |
| <i>Mimosa invisa</i>             | Dorme-maria         | Fabaceae       |
| <i>Sidastrum micranthum</i>      | Guanxuma            | Malvaceae      |
| <i>Conyza canadensis</i>         | Buva                | Asteraceae     |
| <b>Monocotiledôneas</b>          |                     |                |
| <i>Panicum maximum</i> Jaq.      | Capim-colonião      | Poaceae        |
| <i>Eleusine indica</i>           | Capim-pé-de-galinha | Poaceae        |
| <i>Cyperus luzulae</i>           | Capim-de-botão      | Cyperaceae     |
| <i>Paspalum maritimum</i>        | Capim-pernambuco    | Poaceae        |

Fonte: Autores (2025).

Previamente à implantação do experimento, foi realizado o preparo da área experimental para viabilizar o plantio das mudas de eucalipto. O controle das cepas remanescentes do ciclo anterior e das plantas daninhas foi efetuado 49 dias antes do plantio, mediante aplicação do herbicida pós-emergente glifosato, visando proporcionar condições adequadas para as operações subsequentes de preparo do solo, aplicação dos herbicidas pré-emergentes e estabelecimento da cultura. Após a dessecação da vegetação existente, procedeu-se à limpeza da linha de plantio.

A operação de subsolagem foi realizada à profundidade de 0,50 m, seguida da adubação de plantio com 400 kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 10-22-14. Posteriormente, efetuou-se a marcação mecanizada das covas. O plantio foi realizado com o clone comercial *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, adotando-se espaçamento de 3,0 × 2,0 m, correspondente a uma densidade populacional de 1.666 plantas ha<sup>-1</sup>.

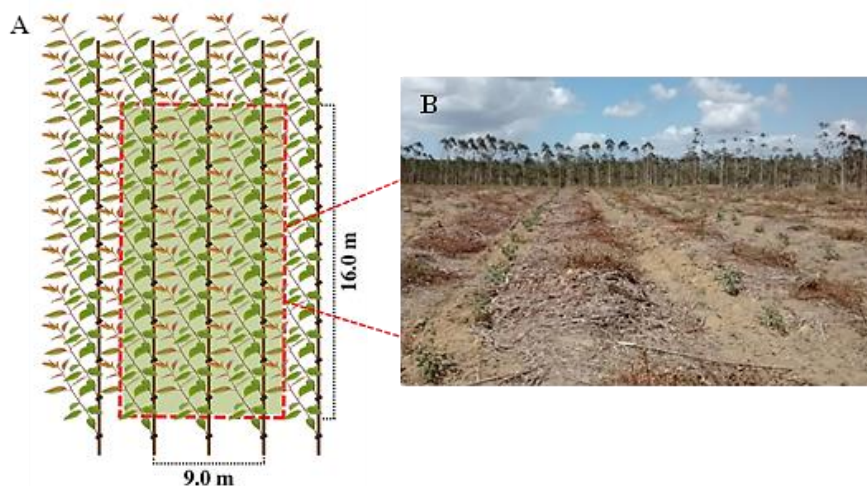
A aplicação dos herbicidas pré-emergentes sulfentrazone e flumioxazina foi realizada em área total três dias antes do plantio, de acordo com os tratamentos experimentais. As pulverizações foram efetuadas utilizando um pulverizador autopropelido John Deere, modelo 4630, equipado com motor de 123 kW (167,2 cv), tanque com capacidade de 2.270 L e barra de pulverização contendo 48 pontas espaçadas em 0,50 m. Foram utilizadas pontas TTI 110025 de jato plano com indução de ar, recomendadas para aplicações de herbicidas. A velocidade operacional foi mantida constante em 6,5 km h<sup>-1</sup> durante todas as aplicações.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com os tratamentos dispostos em esquema fatorial  $2 \times 5 + 2$ , sendo duas taxas de aplicação (150 e 200 L ha<sup>-1</sup>), cinco doses do herbicida sulfentrazone (400, 500, 600, 700 e 800 g ha<sup>-1</sup>), acrescidos de um tratamento adicional com flumioxazina (tratamento padrão) e um tratamento sem aplicação de herbicida (controle). Foram utilizadas quatro repetições por tratamento.

A escolha dos herbicidas sulfentrazone e flumioxazina foi baseada em sua ampla utilização no manejo pré-emergente de plantas daninhas em plantios florestais, especialmente durante a fase inicial de estabelecimento do eucalipto. Ambos os produtos pertencem ao grupo dos inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), apresentando amplo espectro de controle sobre espécies monocotiledôneas e dicotiledôneas. O sulfentrazone destaca-se pela elevada atividade residual no solo, característica que favorece o controle prolongado das plantas daninhas, enquanto a flumioxazina é frequentemente utilizada como herbicida padrão em programas de manejo devido à sua reconhecida eficácia e seletividade para a cultura. Dessa forma, a utilização desses herbicidas permitiu comparar diferentes estratégias de manejo pré-emergente e avaliar a relação entre eficácia de controle e fitotoxicidade em plantas de eucalipto.

Os herbicidas empregados apresentavam formulações do tipo suspensão concentrada (SC) para o sulfentrazone e pó molhável (WP) para a flumioxazina. Cada unidade experimental foi composta por 24 plantas de eucalipto, distribuídas em três linhas com oito plantas cada, ocupando uma área de 144 m<sup>2</sup> (9 × 16 m) sob espaçamento de 3,0 × 2,0 m (Figura 1). Para minimizar possíveis efeitos de bordadura, foram mantidas duas linhas adicionais de plantas ao redor de cada parcela experimental.

**Figura 1.** A: Desenho experimental de cada parcela; B: Área implantada com o experimento



Fonte: Autores (2025).

O controle das plantas daninhas foi avaliado visualmente aos 45, 60, 75 e 115 dias após a aplicação (DAA), utilizando-se uma escala percentual de controle previamente estabelecida por Alam (1974). Nessa escala, o valor de 0% corresponde à ausência de controle, enquanto 100% indicam o controle total das plantas daninhas (Tabela 3). As avaliações foram realizadas separadamente para as classes de plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas em cada unidade experimental.

**Tabela 3.** Escala de avaliação visual da eficiência de controle de plantas daninhas utilizada nos tratamentos do experimento após aplicação dos herbicidas pré-emergentes

| Notas | Classe de porcentagem (%) | Conceito de controle |
|-------|---------------------------|----------------------|
| 1     | 0-40                      | Nenhum/pobre         |
| 2     | 41-60                     | Regular              |
| 3     | 61-70                     | Suficiente           |
| 4     | 71-80                     | Bom                  |
| 5     | 81-90                     | Muito bom            |
| 6     | 91-100                    | Excelente            |

Fonte: Alam (1974). Produção: Autores (2025).

Aos 60 e 115 dias após a aplicação (DAA), realizou-se o levantamento fitossociológico das plantas daninhas por meio do lançamento aleatório de um quadro de inventário em cinco pontos da área útil central de cada unidade experimental. As plantas presentes no interior do quadro foram cortadas rente ao solo, a aproximadamente 5 cm de altura, acondicionadas em sacos de papel Kraft previamente identificados e transportadas ao Laboratório de Mecanização e Defensivos Agrícolas (LMDA) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), para identificação e classificação das espécies.

Para a determinação da massa fresca da parte aérea (MFPA; g m<sup>-2</sup>), as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão (JKI®) e, posteriormente, submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar (Shel Lab®), a 70 °C, até atingirem massa constante. As avaliações de fitotoxicidade nas plantas de eucalipto foram realizadas aos 15, 30, 45 e 60 DAA. A fitotoxicidade foi estimada visualmente de acordo com a escala proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995), na qual 0% corresponde à ausência de sintomas visíveis e 100% à morte da planta.

A altura das plantas e o diâmetro do caule foram avaliados aos 1 e 90 DAA. A altura foi determinada pela distância entre o colo e a gema apical, enquanto o diâmetro do caule foi mensurado a 5 cm acima da superfície do solo utilizando paquímetro digital (Kingtools®). O crescimento das plantas foi obtido pela diferença entre as medições realizadas no início e ao final do período experimental.

As aplicações dos herbicidas foram realizadas no período da manhã. As condições meteorológicas durante as pulverizações foram monitoradas com auxílio de um anemômetro digital Thal-300 e de um termo-higroanemômetro AKROM®, modelo KR825. No momento das aplicações, a temperatura do ar variou entre 24,4 e 26,0 °C, a umidade relativa manteve-se acima de 60% e a velocidade do vento oscilou entre 2,8 e 4,9 km h<sup>-1</sup>, caracterizando condições adequadas para a realização das pulverizações. A adequação das condições ambientais foi verificada com base na norma ISO 22866 (ISO, 2005), que recomenda temperatura do ar entre 5 e 35 °C, velocidade do vento compatível com a realização segura da aplicação e direção predominante do vento dentro do intervalo de 90° ± 30° em relação à linha de deslocamento do pulverizador.

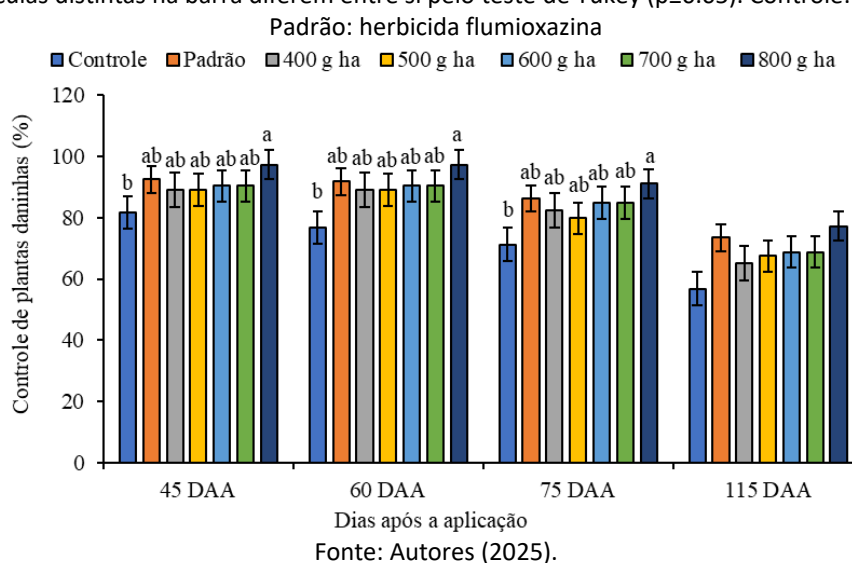
Os dados de controle de plantas daninhas, fitotoxicidade e variáveis de crescimento foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software R (R Core Team, 2025).

## RESULTADOS

Para a eficácia no controle das plantas daninhas, não foi observada interação significativa entre os fatores volume de aplicação e dose do herbicida. Dessa forma, os fatores atuaram de maneira independente e seus efeitos foram analisados separadamente.

Diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas nas avaliações realizadas entre 45 e 75 dias após a aplicação (DAA) (Figura 2). De modo geral, nesse período, todos os tratamentos apresentaram notas iguais ou superiores a 4, correspondendo à classificação de controle “bom” (71–80%), de acordo com a escala visual proposta por Alam (1974). A dose de 800 g ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone proporcionou os maiores níveis de controle das plantas daninhas ao longo do período avaliado, mantendo desempenho superior até os 115 DAA. Por sua vez, as doses de 400, 500, 600 e 700 g ha<sup>-1</sup> apresentaram notas variando entre 3 e 5, correspondendo às classificações de controle “suficiente” (61–70%) a “muito bom” (81–90%). Embora não tenha diferido estatisticamente da maior dose de sulfentrazone (800 g ha<sup>-1</sup>), o tratamento padrão com flumioxazina (250 g ha<sup>-1</sup>) apresentou desempenho destacado aos 45 e 60 DAA, alcançando nota 6, correspondente à classificação de controle “excelente” (91–100%). Nas avaliações realizadas aos 75 e 115 DAA, esse tratamento manteve níveis de controle classificados como “bom” e “muito bom”, respectivamente. O tratamento sem aplicação de herbicida apresentou os menores níveis de supressão das plantas daninhas durante todo o período experimental. Entretanto, aos 115 DAA, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos quanto à eficácia de controle (Figura 2).

**Figura 2.** Valores médios de controle de planta daninha (%) aos 45, 60, 75 e 115 DAA conforme os tratamentos. Letras minúsculas distintas na barra diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Controle: sem aplicação;

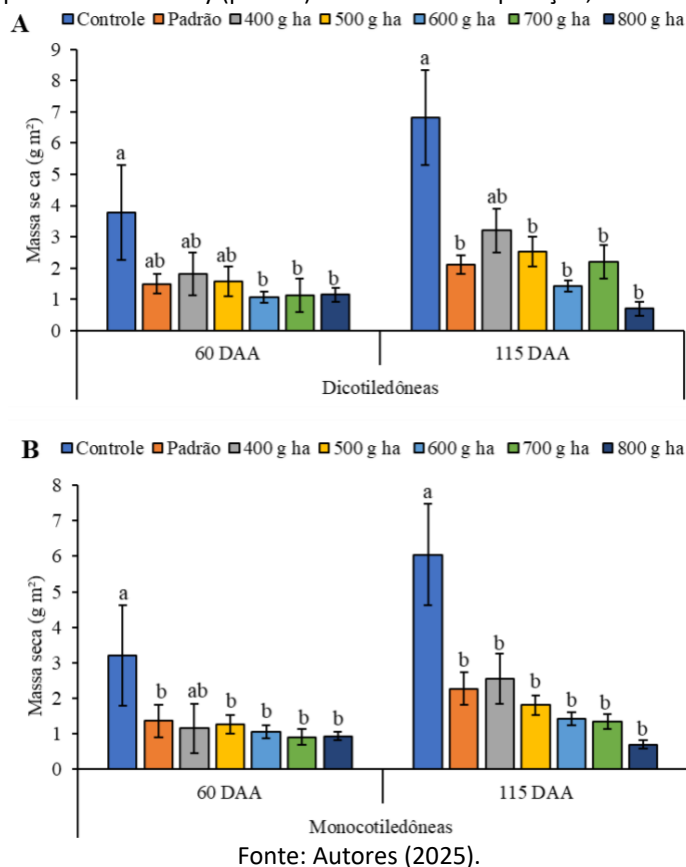


Na análise da massa seca das plantas daninhas, observou-se uma relação inversamente proporcional entre as doses de sulfentrazone e o acúmulo de biomassa, evidenciando que o incremento da dose promoveu maior supressão do desenvolvimento das espécies infestantes (Figura 3). Para as dicotiledôneas, a comparação entre a menor (400 g ha<sup>-1</sup>) e a maior dose (800 g ha<sup>-1</sup>) de sulfentrazone resultou em reduções de 36,5% e 78,1% na massa seca aos 60 e 115 DAA, respectivamente, demonstrando o efeito residual do herbicida ao longo do período de avaliação.

Os maiores valores de massa seca foram registrados no tratamento sem aplicação de herbicida, tanto para as espécies monocotiledôneas quanto para as dicotiledôneas, em ambas as épocas de avaliação (Figura 3). Em contraste, o tratamento padrão com flumioxazina (250

$\text{g ha}^{-1}$ ) promoveu expressiva redução no acúmulo de biomassa das plantas daninhas. Para as dicotiledôneas, a massa seca foi 3,78 e 3,23 vezes menor que a observada no tratamento controle aos 60 e 115 DAA, respectivamente. Para as monocotiledôneas, as reduções corresponderam a 2,36 e 2,66 vezes em relação ao controle nas mesmas épocas de avaliação.

**Figura 3.** Valores médios de massa seca das plantas daninhas ( $\text{g m}^{-2}$ ): A-dicotiledôneas e B-monocotiledôneas, conforme os tratamentos aos 60 e 115 DAA (Dias após aplicação); médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Controle: Sem aplicação; Padrão: Herbicida Flumioxazina



Fonte: Autores (2025).

Na análise da fitotoxicidade, observou-se efeito significativo do fator volume de aplicação aos 15 e 30 DAA, bem como para a variável altura das plantas (Tabela 4). Por outro lado, não foram constatados efeitos significativos aos 45 e 60 DAA nem para o diâmetro do caule, indicando que os tratamentos apresentaram comportamento semelhante para essas variáveis. Além disso, não foi observada interação significativa entre os fatores avaliados, evidenciando que os efeitos da taxa de aplicação e da dose do herbicida ocorreram de forma independente. Dessa maneira, os fatores foram analisados separadamente dentro de cada volume de aplicação.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância das variáveis fitotoxicidade (15, 30, 45 e 60 DAA), diâmetro e altura das plantas de eucalipto

| FV                                    | GL | F       |         |         |         |          |        |
|---------------------------------------|----|---------|---------|---------|---------|----------|--------|
|                                       |    | 15 DAA  | 30 DAA  | 45 DAA  | 60 DAA  | Diâmetro | Altura |
| Sulfentrazone + Padrão/Controle - (A) | 6  | 76.0**  | 83.5**  | 34.7**  | 30.2**  | 10.0**   | 6.0**  |
| Sulfentrazone - (B)                   | 4  | 34.1**  | 43.4**  | 20.5*   | 17.4**  | 11.3**   | 6.0**  |
| Padrão/Controle- (C)                  | 1  | 85.0**  | 68.6**  | 17.5**  | 8.0**   | 10.7**   | 4.0 ns |
| Grupos- (D)                           | 1  | 235.2** | 259.3** | 108.7** | 103.8** | 3.2 ns   | 8.0**  |
| Taxa de aplicação- (E)                | 1  | 14.7**  | 9.4*    | 5.0 ns  | 3.5 ns  | 2.3 ns   | 6.2*   |
| (A) x (E)                             | 6  | 16.3**  | 16.1**  | 9.8**   | 4.0**   | 5.3**    | 4.4**  |
| (B) x (E)                             | 4  | 17.3**  | 20.1**  | 13.1**  | 4.0**   | 4.3**    | 3.3*   |
| (C) x (E)                             | 1  | 23.8**  | 13.3**  | 4.5*    | 1.0 ns  | 10.0**   | 11.3** |
| (D) x (E)                             | 1  | 4.6*    | 3.2 ns  | 1.7 ns  | 6.0*    | 4.7*     | 2.2*   |
| Resíduo                               | 36 | ---     | ---     | ---     | ---     | ---      | ---    |

Nota: DAA: dias pós aplicação; ns: não significativo; \*: significativo .05; \*\*: significativo .01. Fonte: Autores (2025).

A flumioxazina apresentou os menores níveis de fitotoxicidade nas mudas de eucalipto aos 15, 30 e 60 DAA quando aplicada na taxa de 150 L ha<sup>-1</sup> (Tabela 5). Os sintomas observados restringiram-se à clorose das folhas localizadas no terço inferior das plantas, sem reflexos negativos sobre as folhas mais jovens ou sobre as brotações emitidas durante o período de avaliação. Os sintomas de fitotoxicidade nas mudas de eucalipto submetidas ao sulfentrazone foram observados já na primeira avaliação, realizada aos 15 DAA (Tabela 5). As injúrias caracterizaram-se inicialmente pelo arroxamento das folhas do terço inferior das plantas, seguido pelo aparecimento de clorose e, posteriormente, de necroses pontuais. A dose de 800 g ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone promoveu os maiores níveis de fitotoxicidade nas mudas de eucalipto, apresentando injúrias mais intensas aos 15 e 30 DAA na taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>. Na taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>, comportamento semelhante foi observado para as doses de 700 e 800 g ha<sup>-1</sup>.

Por outro lado, a dose de 400 g ha<sup>-1</sup> apresentou os menores níveis de fitotoxicidade entre os tratamentos contendo esse herbicida na taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> (Tabela 5). Além disso, verificou-se redução progressiva dos sintomas ao longo do período experimental, com decréscimo de aproximadamente 50% nos níveis de fitotoxicidade aos 45 e 60 DAA em comparação às avaliações realizadas aos 15 e 30 DAA.

**Tabela 5.** Valores médios de fitotoxicidade (%) pelos herbicidas aplicados em plantas de eucalipto aos 15, 30, 45 e 60 DA (Dias após aplicação) e taxas de aplicação

| Fitotoxicidade | Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> ) | Controle <sup>a</sup> | Padrão <sup>b</sup>              |        |        |         |        |        |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
|                |                                         |                       | Sulfentrazone g ha <sup>-1</sup> |        |        |         |        |        |
|                |                                         | ----                  | 250                              | 400    | 500    | 600     | 700    | 800    |
| 15 DAA         | 150                                     | 0 aE                  | 8 bDE                            | 20 aB  | 21 aB  | 22 Ab   | 19 bBC | 46 aA  |
|                | 200                                     | 0 aC                  | 27 aAB                           | 24 aB  | 25 aAB | 27 Aab  | 33 aA  | 32 bAB |
| CV (%)=        |                                         |                       | 18.0                             |        |        |         |        |        |
| 30 DAA         | 150                                     | 0 aD                  | 8 bC                             | 18 aB  | 20 aB  | 21 aB   | 19 bB  | 46 aA  |
|                | 200                                     | 0 aD                  | 21 aC                            | 22 aBC | 20 aC  | 25 Aabc | 31 aA  | 30 bAB |
| CV (%)=        |                                         |                       | 18.0                             |        |        |         |        |        |
| 45 DAA         | 150                                     | 0 d                   | 43 cd                            | 10 bc  | 8 bcd  | 14 b    | 16 b   | 37 a   |
|                | 200                                     | 0 c                   | 13 ab                            | 12 b   | 19 ab  | 18 ab   | 21 a   | 20 ab  |
| CV (%)=        |                                         |                       | 31.8                             |        |        |         |        |        |
| 60 DAA         | 150                                     | 0 d                   | 3 cd                             | 10 b   | 8 bc   | 11 b    | 11 b   | 23 a   |
|                | 200                                     | 0 c                   | 6 bc                             | 6 bc   | 7 bc   | 12 ab   | 11 ab  | 14 a   |
| CV (%)=        |                                         |                       | 35.0                             |        |        |         |        |        |

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha e letras maiúsculas distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ); CV (%): Coeficiente de variação. <sup>a</sup>: Tratamento controle (Sem aplicação), <sup>b</sup>: Herbicida Flumioxazina (Padrão). Fonte: Autores (2025).

Aos 60 DAA, observou-se recuperação parcial dos sintomas de fitotoxicidade causados pelo sulfentrazone, evidenciada principalmente pela redução da coloração avermelhada das folhas. Essa recuperação tornou-se ainda mais evidente aos 90 DAA, por meio das avaliações de altura e diâmetro do caule (Tabela 6). Em ambas as variáveis, a dose de 800 g ha<sup>-1</sup> apresentou os menores valores, independentemente da taxa de aplicação, indicando efeito negativo sobre o crescimento inicial da cultura.

Considerando-se cada taxa de aplicação de forma isolada, na taxa de 150 L ha<sup>-1</sup>, a dose de 400 g ha<sup>-1</sup> promoveu os maiores incrementos de crescimento, resultando em valores 20,5% superiores para altura e 25,0% superiores para diâmetro em relação à dose de 800 g ha<sup>-1</sup>, que apresentou o menor desempenho para ambas as variáveis (Tabela 6). Na taxa de 200 L ha<sup>-1</sup>, a dose de 600 g ha<sup>-1</sup> proporcionou os maiores valores de crescimento, com incrementos de 38,7% na altura e 43,6% no diâmetro quando comparada à dose de 800 g ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 6.** Valores médios de altura e diâmetro das plantas (cm) de eucalipto de acordo com os herbicidas aplicados e taxas de aplicação

| Medição (cm) | Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> ) | Controle <sup>a</sup> | Padrão <sup>b</sup> Sulfentrazone |         |          |          |          |         |
|--------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------|----------|----------|----------|---------|
|              |                                         |                       | g ha <sup>-1</sup>                |         |          |          |          |         |
|              |                                         | ----                  | 250                               | 400     | 500      | 600      | 700      | 800     |
| Altura       | 150                                     | 52.1 aA               | 47.6 bA                           | 52.3 aA | 45.5 aA  | 47.2 bA  | 50.0 aA  | 41.6 aA |
|              | 200                                     | 52.1 aBC              | 70.0 aA                           | 50.6 aC | 53.8 aBC | 65.4 aAB | 52.4 aBC | 40.1 aC |
| CV (%) =     |                                         |                       |                                   |         | 12.60    |          |          |         |
| Diâmetro     | 150                                     | 7.7 aAB               | 7.8 bAB                           | 8.8 aA  | 8.0 aAB  | 7.8 bAB  | 8.1 aAB  | 6.6 aB  |
|              | 200                                     | 7.7 aC                | 10.6 aA                           | 7.8 aC  | 8.5 aBC  | 10.1 aAB | 8.5 aBC  | 5.7 aD  |
| CV (%) =     |                                         |                       |                                   |         | 11.00    |          |          |         |

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha e letras maiúsculas distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ); CV (%): Coeficiente de variação. <sup>a</sup>: Tratamento controle (Sem aplicação), <sup>b</sup>: Herbicida Flumioxazina (Padrão). Fonte: Autores (2025).

Os tratamentos com flumioxazina (padrão) e sem aplicação de herbicida (controle) não diferiram dos tratamentos contendo sulfentrazone na taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> para as variáveis altura e diâmetro do caule (Tabela 6). Entretanto, já aos 15 DAA, a dose de 800 g ha<sup>-1</sup> apresentou sintomas mais severos de fitotoxicidade, caracterizados por necrose foliar e danos à gema apical. Esses efeitos comprometeram o crescimento inicial das mudas e contribuíram para os menores valores de altura e diâmetro observados nas avaliações subsequentes realizadas aos 30, 45 e 60 DAA.

## DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que as diferentes taxas de aplicação não influenciaram significativamente o controle das plantas daninhas durante a fase inicial da cultura do eucalipto. Resultados semelhantes foram relatados por Almeida et al. (2017), utilizando sulfentrazone, e por Mallmann et al. (2021), com os herbicidas 2,4-D, metsulfuron-methyl e glifosato potássico. Apesar disso, a redução das taxas de aplicação tem sido adotada como estratégia para aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores, reduzir o número de reabastecimentos e otimizar os custos das operações de pulverização.

Em plantios de eucalipto, o período anterior à interferência (PAI), definido como o intervalo em que as plantas daninhas podem coexistir com a cultura sem comprometer significativamente o seu desenvolvimento, varia entre 30 e 56 dias após o plantio (Ferreira et al., 2010; Pereira et al., 2014). Nesse contexto, os níveis de controle observados foram satisfatórios durante o período crítico de estabelecimento da cultura, independentemente da dose de sulfentrazone utilizada. A reduzida precipitação registrada entre 30 e 60 DAA pode ter contribuído para a menor diferenciação entre os tratamentos, limitando a expressão do efeito residual do herbicida (Gehrke et al., 2020). Consequentemente, os tratamentos contendo sulfentrazone, especialmente nas doses entre 400 e 700 g ha<sup>-1</sup>, apresentaram níveis de controle semelhantes ao longo das avaliações.

Outro aspecto relevante refere-se às características físicas do solo. A textura franco argilo-arenosa da área experimental provavelmente favoreceu a permanência do sulfentrazone na solução do solo, aumentando sua disponibilidade para absorção pelas plantas. Carbonari et al. (2016) verificaram que a adsorção desse herbicida em solos argilosos pode ser até quatro vezes superior à observada em solos arenosos, reduzindo sua disponibilidade biológica. Essa característica pode explicar, ao menos parcialmente, a manutenção do controle das plantas daninhas e a ausência de diferenças estatísticas entre os tratamentos aos 115 DAA.

A redução da massa seca das plantas daninhas em resposta ao aumento das doses de sulfentrazone reforça a eficácia do herbicida no manejo das espécies infestantes. Tendência semelhante foi observada por Hasanuddin et al. (2022), que registraram diminuição significativa da biomassa das plantas daninhas com o incremento da dose de sulfentrazone. Entretanto, a interpretação desses resultados deve considerar simultaneamente os efeitos sobre a cultura, uma vez que maiores níveis de controle podem estar associados ao aumento da fitotoxicidade.

A dinâmica do sulfentrazone no solo está diretamente relacionada a atributos como pH, teor de matéria orgânica e textura, fatores que influenciam os processos de sorção e disponibilidade do herbicida (Gehrke et al., 2020). Freitas et al. (2014), avaliando um solo de textura franco argilo-arenosa com pH 5,1 e teor de matéria orgânica de 2,3 dag kg<sup>-1</sup>, verificaram redução de 50% na massa seca de *Sorghum bicolor* utilizando apenas 223,4 g ha<sup>-1</sup> do herbicida. Considerando que o solo da área experimental apresentou características semelhantes e que as doses avaliadas variaram de 400 a 800 g ha<sup>-1</sup>, a ocorrência de sintomas de fitotoxicidade nas plantas de eucalipto era esperada.

Resultados semelhantes foram relatados por Melo et al. (2010), que observaram maior persistência do sulfentrazone em solos de textura franco-arenosa e argilosa com elevados teores de matéria orgânica. No presente estudo, entretanto, a influência da taxa de aplicação sobre os sintomas de fitotoxicidade foi limitada, especialmente aos 45 e 60 DAA, quando não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos. Comportamento semelhante também foi observado em estudos conduzidos com herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura do eucalipto (Neto et al., 2013) e em plantas daninhas submetidas ao glyphosate (Bueno et al., 2013).

A recuperação das plantas tornou-se evidente após os 60 DAA, caracterizada pela emissão de novas brotações, redução dos sintomas visuais de injúria e incremento das variáveis de crescimento. Esse comportamento pode estar relacionado à capacidade de tolerância do material genético utilizado, associada a mecanismos fisiológicos que favorecem a redistribuição de fotoassimilados, a recuperação metabólica dos tecidos afetados e a redução da concentração do herbicida nos sítios de ação. Rezende et al. (2014) também observaram recuperação progressiva de mudas de *Eucalyptus urophylla* após a exposição ao sulfentrazone, especialmente a partir dos 60 dias após a aplicação.

Além da recuperação fisiológica, os resultados sugerem a possibilidade de ocorrência do fenômeno conhecido como hormese, caracterizado pela estimulação do crescimento vegetal em resposta à exposição a baixas doses de compostos potencialmente tóxicos (Jalal et al., 2021). Esse efeito já foi descrito para diversas culturas, incluindo cana-de-açúcar (Pincelli-Souza et al., 2020), algodão (Américo et al., 2016), milho (Barbosa et al., 2017) e pequi (Tavares et al., 2017). Em *Eucalyptus grandis*, Velini et al. (2008) verificaram que doses reduzidas de glyphosate promoveram incremento do crescimento radicular e aumento da massa seca das mudas.

Nesse contexto, a dose de 400 g ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone associada à taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> proporcionou os maiores valores de altura e diâmetro das plantas, sugerindo que baixos níveis de exposição ao herbicida podem ter favorecido respostas fisiológicas positivas. Resultado semelhante foi relatado por Carvalho et al. (2014), que observaram maior

crescimento de clones de eucalipto submetidos à deriva de triclopir e da mistura triclopir + fluroxipir em comparação às plantas não expostas aos herbicidas.

Embora a dose de 800 g ha<sup>-1</sup> tenha proporcionado os maiores níveis de controle e os menores valores de massa seca das plantas daninhas, esses benefícios foram acompanhados por maior fitotoxicidade nas plantas de eucalipto durante os primeiros 60 dias após a aplicação. Dessa forma, a escolha da dose mais adequada deve considerar não apenas a eficácia no controle das espécies infestantes, mas também a seletividade do herbicida para a cultura. Os resultados obtidos indicam que doses intermediárias podem representar uma alternativa mais equilibrada entre controle de plantas daninhas e segurança para o desenvolvimento inicial do eucalipto. Contudo, estudos adicionais são necessários para compreender com maior profundidade a dinâmica do sulfentrazone em diferentes condições edafoclimáticas e sua relação com a resposta fisiológica da cultura.

## CONCLUSÃO

A dose de 800 g ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone promoveu os maiores níveis de controle das plantas daninhas, porém ocasionou maior fitotoxicidade nas mudas de eucalipto, caracterizando-se como a dose mais crítica durante a fase inicial de estabelecimento da cultura. As doses de sulfentrazone entre 400 e 600 g ha<sup>-1</sup> proporcionaram controle satisfatório das plantas daninhas, associadas a menores níveis de fitotoxicidade e adequado desenvolvimento das plantas, configurando-se como as alternativas mais equilibradas para aplicações em pré-emergência na cultura do eucalipto. As taxas de aplicação de 150 e 200 L ha<sup>-1</sup> não influenciaram significativamente a eficácia de controle das plantas daninhas nem a intensidade da fitotoxicidade, indicando que a escolha da dose do herbicida exerce maior impacto sobre a resposta da cultura do que a variação da taxa de aplicação dentro da faixa avaliada.

## REFERÊNCIAS

- Asociacion Latinoamericana de Molezas. ALAM. (1974). Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas, *ALAM*, 1(1), 35-38.
- Almeida, D. P., Ferreira, M. C. da., Leite, G. J., Velloso, C. P., Griesang, F., & Santos, R. T. S. da. (2017). Volumes de calda, uso de adjuvante e intervalos sem chuva no controle de plantas-daninhas com sulfentrazone. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 16(2), 163-72. <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i2.513>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-28. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Américo, G. H. P., Jr., E. F., Américo-Pinheiro, J. H. P., & Santos, D. M. A. dos. (2016). Desenvolvimento e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de subdoses de ácido diclorofenoxiacético e cloreto de mepiquat. *Brazilian Journal of Agriculture-Revista de Agricultura*, 91(2), 117-29.
- Barbosa, A. P., Zucareli, C., Freiria, G. H., Gomes, G. R., Bazzo, J. H. B., & Takahashi, L. S. A. (2017). Low rates of glyphosate on the process germination and corn seedling development. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 16(2), 240-50. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p240-250>
- Barroso, A. A. M. & Murata, A. T. (2021). Matologia: estudos sobre plantas daninhas. *Fábrica da Palavra: Jaboticabal, Brazil*, 1ª ed., 547p.
- Bueno, N. R., Alves, G. S., Paula, A. D. M., & Cunha, J. P. A. R. (2013). Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com glyphosate. *Planta Daninha*, 31(3), 705-13. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000300022>
- Carbonari, C. A., Gomes, G. L., Trindade, M. L., Silva, J. R., & Velini, E. D. (2016). Dynamics of sulfentrazone applied to sugar cane crop residues. *Weed Science*, 64(1), 201-06. <https://doi.org/10.1614/WS-D-14-00171.1>

- Carvalho, G. P.; Silva, A. A.; Nunes, T. V.; Barbosa, F. A.; Silva, J. I. C.; Cerqueira, F. B.; Erasmos, E. A. L.; Sarmiento, R. A. 2014. Deriva simulada de triclopyr e fluroxypyr + triclopyr no desenvolvimento de mudas de clones de Eucalyptus. *Revista Árvore*, 38(1):165-173. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100016>
- Contiero, R.L.; Biffe, D.F.; Catapan, V. **Tecnologia De Aplicação**. In: Brandão Filho, J.U.T., Freitas, P.S.L., Berian, L.O.S.; Goto, R., comps. Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 401-449. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0015>
- Feereira, L. R.; Machado, A. F. L. Ferreira, F. A.; Santos, L. D. T. Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do eucalipto. Ed. UFV, Viçosa-MG, ISBN: 978-85-7269-376-9, 140 p., 2010.
- Freitas, M. A. M., Passos, A. B. R. J., Torres, L. G., Moraes, H. M. F., Faustino, L. A, Rocha, P. R. R., Silva, A. A. 2014. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. *Planta Daninha*, 32(2): 385-392. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000200016>
- Garlet, J. and Costa, E. C. 2014. Plantas daninhas e seus efeitos no ataque de pragas e no crescimento de plantas de eucalipto. *Revista de Ciências Agrárias-Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 57(3): 280-286. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1521>
- Gehrke, V. R., Camargo, E. R., & Avila, L. A. 2020. Sulfentrazone: Environmental Dynamics and Selectivity. *Planta Daninha*, 38: 020215663. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100032>
- Hasanuddin, H., Hafsah, S., Setiawan, A., & Aryani, D. S. 2022. Effect of pendimethalin and sulfentrazone on characteristics of weeds in soybean cultivation. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 951(1): 012027. doi:10.1088/1755-1315/951/1/012027
- Indústria Brasileira de Árvores. (2025). Relatório anual 2025. Recuperado de <https://iba.org>. Acesso em: 22 dez. 2025.
- ISO 22866; I. S. O. Equipment for Crop Protection-Methods for Field Measurements of Spray Drift. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, p.1–17, 2005.
- Jalal, A., Oliveira Jr., J. C. de., Ribeiro, J. S., Fernandes, G. C., Mariano, G. G., Trindade, V. D. R., & Reis, A. R. dos. (2021). Hormesis in plants: physiological and biochemical responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 111225. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111225>
- Mallmann, B., Nascimento, J. M., Barbosa, P. M. B., Stoffel, A. V. S., & Arcorverde, S. N. S. (2021). Aplicação de herbicida em diferentes volumes e horários no controle de plantas daninhas. *Global Science and Technology* 14(1), 21-27.
- Melo, C. A. D., Medeiros, W. N., Tuffi Santos, L. D., Ferreira, F. A., Tiburcio, R. A. S., & Ferreira, L. R. (2010). Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. *Planta Daninha*, 28(2), 385-92. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000200018>
- Neto, E. F. A., Sousa, N. J., Rezende, E. D., Souza, M. D., & Silva, D. V. (2013). Efeitos de diferentes doses e volumes de calda do herbicida inibidor de accase para controle de *Brachiaria* sp. em plantios de eucalipto. *Revista Enciclopédia Biosfera*, 9(17), 11-69. Recuperado de <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3099>
- Pereira, F. C. M. & Alves, P. L. C. A. (2015). Herbicidas para controle de plantas daninhas em eucalipto. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 14(4), 333-47. <https://doi.org/10.7824/rbh.v14i4.425>
- Pereira, F. C. M., Barroso, A. A. M., Albrecht, A. J. P., & Alves, P. L. da. A. (2014). Interferência de plantas daninhas: conceitos e exemplos na cultura do eucalipto. *Journal of Agronomic Sciences*, 3(n. especial), 236-55.
- Pincelli-Souza, R. P., Bortolheiro, F. P., Carbonari, C. A., Velini, E. D., & Silva, M. D. A. (2020). Hormetic effect of glyphosate persists during the entire growth period and increases sugarcane yield. *Pest Manag. Sci.* 76, 2388-94. <https://doi.org/10.1002/ps.5775>
- Pitelli, R. A. (1987). Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. *Série Técnica IPEF*, 4(12), 1-24. Recuperado de <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/6867>
- R Core Team. (2025). R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.r-project.org>

- Rezende, E. H., Sousa, N. J., Souza, M., Tetto, A., & Malinovski, R. (2014). Fitotoxicidade de diferentes herbicidas pré-emergentes em mudas de *Eucalyptus urophylla* submetidas à aplicação em pré e pós-plantio. *Enciclopedia biosfera*, 10(18), 1781-91. Recuperado de <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2793>
- Ribeiro, L. F. O., Ribeiro, M. E. A., Santos, T. M., Aiala, M. L. C., & Vitória, E. L. da. (2023a). Pulverização simulada de herbicida nas entrelinhas da cultura da pimenta-do-reino. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 9(1), 41-55. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i1.39943>
- Ribeiro, L. F. O., Vitória, E. L. D., Soprani Júnior, G. G., Chen, P., & Lan, Y. (2023b). Impact of operational parameters on droplet distribution using an unmanned aerial vehicle in a papaya orchard. *Agronomy*, 13(4), 1138. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041138>
- Ribeiro, L. F. O. & Vitória, E. L. da. (2022). Qualidade de pulverização hidropneumática na cultura da macadâmia. *Agrotrópica* (Itabuna), 34(1), 81-88. <https://doi.org/10.21757/0103-3816.2022v34n1p81-88>
- Richardson, B., Rolando, C. A., Somchit C., Dunker, C., Strand, T. M., & Kimberley, M. O. (2020). Swath pattern analysis from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for pesticide application. *Pest Manag. Sci.*, 76(4), 1282-90. <https://doi.org/10.1002/ps.5638>
- Santos, L. D. T., Meira, R. M. S. A., Ferreira, F. A., Sant'Anna-Santos, B. F., & Ferreira, L. R. (2007). Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. *Environmental and experimental botany*, 59(1), 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.09.010>
- Shaner D. L. (2014). Herbicide handbook. 10<sup>a</sup>.ed. Lawrence: Allen Press; 513p.
- Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas - SBCPD. (1995). Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 42 p.
- Tavares, C. J., Pereira, L. S., Araújo, A. C. F., Martins, D. A., & Jakelaitis, A. (2017). Initial growth of pequi plants after application of 2, 4-D. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 37(89), 81-87. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.89.1280>
- Velini, E. D., Alves, E., Godoy, M. C., Meschede, D. K., Souza, R. T., & Duke, S. O. (2008). Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. *Pest Manag. Sci.* 64(4), 489-96. <https://doi.org/10.1002/ps.1562>
- Vitória, E. L. D., Krohling, C. A., Borges, F. R. P., Ribeiro, L. F. O., Ribeiro, M. E. A., Chen, P., ... & Furtado Jr., M. R. (2023). Efficiency of fungicide application and using an unmanned aerial vehicle and pneumatic sprayer for control of *Hemileia vastatrix* and *Cercospora coffeicola* in mountain coffee crops. *Agronomy*, 13(2), 340. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020340>
- Wang, G., Lan, Y., Qi, H., Chen, P., Hewitt, A., & Han, Y. (2019). Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. *Pest management science*, 75(6), 1546-55. <https://doi.org/10.1002/ps.5321>