

EFEITOS FISIOLÓGICOS DOS HERBICIDAS MESOTRIONE E ATRAZINA EM HÍBRIDOS DE MILHO

Ismael Lourenço de Jesus Freitas¹, Silvério de Paiva Freitas², Tamara Locatelli³, Silvério de Paiva Freitas Junior⁴, Sílvio de Jesus Freitas⁵, Tallita Pedroni Locatelli⁶ e João Vitor Sartori Marotto⁷

¹Pesquisador Doutor em produção vegetal. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, (INCAPER) – CPDI Serrano - BR 262, km 94, Fazenda do Estado, Aracê - 29278-000. Domingos Martins, ES, Brasil, ismaelljf@yahoo.com.br; ²Professor Doutor em fitotécnica. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 78840-000, Av. Alberto Lamego, 2000 - Parque California, Campos dos Goytacazes - RJ, 28013-602, Brasil, silverio@uenf.br; ³Professora Doutora em produção vegetal. Centro Estadual Integrado de Educação Rural (CEIER), Campus Águia Branca. Corrego Comunidade São Pedro, Sn Zona Rural, Águia Branca - ES, 29795-000, Brasil, tamaralocatelli@gmail.com; ⁴Professor Doutor em produção vegetal. Universidade Federal do Cariri – UFCA, Universidade Federal do Cariri - Av. Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte - CE, 63048-080, Brasil, silverio.freitas@ufca.edu.br; ⁵Professor Doutor em produção vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 78840-000, Av. Alberto Lamego, 2000 - Parque California, Campos dos Goytacazes - RJ, 28013-602, Brasil, silvio@uenf.br; ⁶Licenciada em Pedagogia e Sociologia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo Campus Itapina. Rodovia BR 259 - KM 70 - Trecho Colatina X Baixo Guandu Distrito de Itapina Zona Rural, ES, 29717-000, Brasil, tallita.locatelli@gmail.com. ⁷Técnico de desenvolvimento rural / Agropecuária. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, (INCAPER) – CPDI Serrano - BR 262, km 94, Fazenda do Estado, Aracê - 29278-000. Domingos Martins, ES, Brasil, joao.marotto@incaper.es.gov.br

RESUMO: O controle de plantas daninhas é essencial para garantir a produtividade do milho, sendo o herbicida mesotrione uma ferramenta eficaz, especialmente contra espécies de folhas largas e poaceas. Sua ação ocorre por meio da inibição da enzima hidroxifenilpiruvato-dioxigenase (HPPD), fundamental para a biossíntese de carotenoides, resultando na degradação dos cloroplastos e morte das plantas suscetíveis. Apesar de apresentar seletividade à cultura do milho, fatores como dose, estágio de desenvolvimento da planta e condições ambientais podem interferir na eficácia e segurança da aplicação. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos fisiológicos dos herbicidas mesotrione e atrazina em dois híbridos de milho (UENF 506-8 e DKB 3030), por meio de parâmetros fotossintéticos, morfológicos e biofísicos. O experimento foi conduzido em vasos com substrato de areia e argila (2:1), com aplicação de cinco doses de mesotrione (0; 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 kg ha⁻¹) associadas a 1.200 g ha⁻¹ de atrazina. As avaliações incluíram fluorescência da clorofila, trocas gasosas, altura de planta, área foliar e massa seca da parte aérea e das raízes. Os resultados indicaram que, embora o mesotrione cause alterações fisiológicas iniciais, como redução na eficiência fotoquímica (Fv/Fm) e no desempenho do fotossistema II, essas alterações foram temporárias, sem impacto significativo no desenvolvimento final das plantas. Conclui-se que o uso do mesotrione associado ao atrazina, nas doses recomendadas e sob condições ambientais favoráveis, é seguro e eficiente no manejo de plantas daninhas em milho, reforçando a importância do manejo integrado para uma produção sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo de plantas daninhas. seletividade. Fitotoxidez

ABSTRACT: Weed control is essential to ensure maize productivity, and the herbicide mesotrione is an effective tool, particularly against broadleaf and grass weed species. Its mode of action involves inhibition of the enzyme hydroxyphenylpyruvate dioxxygenase (HPPD), which is crucial for carotenoid biosynthesis, leading to chloroplast degradation and death of susceptible plants. Although mesotrione exhibits selectivity for maize, factors such as dosage, plant developmental stage, and environmental conditions can affect its efficacy and crop safety. This study aimed to evaluate the physiological effects of mesotrione and atrazine on two maize hybrids (UENF 506-8 and DKB 3030) by analyzing photosynthetic, morphological, and biophysical parameters. The experiment was conducted in pots filled with a sand and clay substrate (2:1), and five mesotrione doses (0; 0.15; 0.30; 0.45; and 0.60 kg ha⁻¹) combined with

1,200 g ha⁻¹ of atrazine were applied. Assessments included chlorophyll fluorescence, gas exchange, plant height, leaf area, and shoot and root dry mass. Results indicated that although mesotrione caused initial physiological alterations, such as reduced photochemical efficiency (Fv/Fm) and performance of photosystem II, these effects were transient and did not significantly impact the plants' final development. It is concluded that the use of mesotrione in combination with atrazine, at the recommended doses and under favorable environmental conditions, is safe and effective for weed management in maize, reinforcing the importance of integrated management for sustainable production.

KEYWORDS: Weed management. selectivity. Phytotoxicity.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas agrícolas no Brasil e no mundo, desempenhando papel fundamental tanto na alimentação humana quanto na animal, além de ser uma matéria-prima estratégica para a produção de etanol, bioplásticos e outros derivados industriais (RIBEIRO *et al.*, 2021). No entanto, a produtividade do milho é frequentemente comprometida por fatores bióticos, com destaque para a interferência de plantas daninhas. Estas competem diretamente com a cultura por recursos essenciais como luz, água e nutrientes, o que pode acarretar reduções significativas na produção se não forem manejadas adequadamente (SILVA *et al.*, 2020). Assim, o controle eficaz das plantas daninhas é crucial para garantir o crescimento saudável das plantas de milho e otimizar os rendimentos da lavoura.

A aplicação de herbicidas é uma das estratégias mais utilizadas no controle de plantas daninhas em culturas agrícolas. Entre os herbicidas empregados no milho, o mesotrione se destaca por sua ação seletiva, que permite o controle de uma ampla gama de plantas daninhas de folhas largas, enquanto causa danos mínimos à cultura. Mesotrione é um herbicida sistêmico que inibe a enzima p-hidroxifenilpiruvato-dioxigenase (HPPD), essencial para a biossíntese de carotenoides, que são importantes na proteção das plantas contra a radiação solar excessiva (SCHOLZ *et al.*, 2020). A inibição dessa enzima resulta na destruição dos cloroplastos e no aparecimento de sintomas de clorose nas plantas tratadas. Sua aplicação em pré-emergência ou pós-emergência de plantas daninhas é uma prática comum nas lavouras de milho, mas, para que seja eficaz e minimize danos à cultura, é fundamental que o manejo do herbicida seja bem planejado e executado.

O efeito do mesotrione sobre a cultura de milho, embora em grande parte seletivo, pode ser afetado por diversos fatores, como a dose aplicada, o estágio de desenvolvimento do milho e as condições ambientais. Estudo de Oliveira *et al.* (2021) destacou que doses elevadas de mesotrione podem causar danos fisiológicos à planta de milho, como redução na fotossíntese, alterações no metabolismo de carboidratos e de aminoácidos e, em casos mais severos, a morte celular. A seletividade do herbicida deve-se à capacidade do milho de metabolizar o mesotrione de maneira mais eficiente que muitas plantas daninhas, o que possibilita o controle efetivo das mesmas sem grandes prejuízos à cultura (SANTOS *et al.*, 2022). Entretanto, o uso excessivo ou mal manejado do herbicida pode resultar em estresse para a planta de milho, afetando sua produção e qualidade.

Além dos efeitos diretos sobre a cultura de milho, o mesotrione pode também influenciar a microbiota do solo e a biodiversidade das plantas daninhas, alterando o equilíbrio ecológico da lavoura (MOURA *et al.*, 2020). Dessa forma, é importante que o manejo de plantas específicas no milho seja abordado de forma integrada, considerando não apenas a eficiência do controle de plantas daninhas, mas também os impactos fisiológicos do herbicida e a sustentabilidade da prática no longo prazo.

A presente trabalho visa discutir o manejo de plantas daninhas específicas em milho e os efeitos fisiológicos do herbicida mesotrione sobre a cultura, com ênfase nos aspectos que

envolvem sua aplicação, seletividade e impactos ambientais, com base em estudos recentes da literatura. É fundamental compreender as interações entre o herbicida e a planta de milho para otimizar a utilização desse insumo, garantindo produtividade sem comprometer a saúde da cultura e ambiental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 12 L de substrato (areia e argila na proporção de 2:1), adubado com 40 g/vaso da formulação 4-18-8 de N-P-K e contendo uma planta/vaso. Os vasos foram dispostos em blocos casualizados, sob esquema fatorial simples, com 4 repetições, utilizando-se cinco doses de mesotrione (0,0; 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 kg ha⁻¹) associadas a 1.200 g ha⁻¹ atrazine e, dois híbridos de milho (UENF 506-8 e DKB 3030), totalizando 40 unidades experimentais.

A aplicação do herbicida foi realizada quando as plantas estavam no estágio de quatro folhas, utilizando pulverizador costal, pressurizado a CO₂, com pressão constante de 3,0 kgf cm⁻² e equipado com um bico Teejet DG 80.02, calibrado para aplicar o equivalente a 237 L ha⁻¹ de calda. As aplicações foram realizadas em dias com pleno sol, umidade relativa acima de 75% e velocidade do vento próxima a 4 km h⁻¹. As plantas foram irrigadas diariamente e o teor de umidade no vaso mantido próximo à capacidade de campo.

Aos dois, quatro, oito, 12, 20 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas avaliou-se, fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas (IRGA) e aos 28 DAA, avaliou-se a altura da planta, área foliar, matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR).

O monitoramento da fluorescência foi realizado às 08 horas à temperatura ambiente, tomando-se medida as duas últimas folhas (da parte apical para base da planta), com uma medição por folha. A folha foi pré-adaptada ao escuro, com a utilização de pinças, por 30 minutos antes das determinações de fluorescência, uma vez que este tempo é suficiente para a “estabilização” do sistema transportador de elétrons do processo fotossintético, admitindo-se que todos os centros de reação tenham adquirido a condição de abertos (Q_a oxidada) (BÓLHAR-NORDENKAMPH *et al.*, 1989). Após este período, a iluminação foi fornecida por meio de um conjunto de 6 LEDs com comprimento de onda de 650 nm na superfície da amostra para fornecer energia luminosa homogênea de 3.000 μmoles m⁻² s⁻¹, em 100% da intensidade luminosa, sob uma área de 4 mm de diâmetro. Por meio de um fluorômetro de luz não-modulada modelo PEA (Hansatech Instruments Ltda, King's Lynn, Norfolk, UK) foi possível obter a relação F_v/F_m (eficiência fotoquímica do PS II).

Utilizando o programa computacional Biolyzer (R.J. Strasser, University of Geneva, Laboratory of Bioenergetics, Switzerland), foram obtidos alguns indicadores do desempenho do processo fotossintético, como ABS/RC (referente à quantidade de energia absorvida pelos pigmentos no complexo-antena do PS II, por unidade de centro de reação ativo), DI_o/RC (energia dissipada por unidade de centro de reação ativo), RC/CS_o (densidade dos centros de reação ativos, relacionados à redução da Q_a) e ET_o/CS_o (relação da distribuição de energia por seção transversal da amostra) (STRASSER; STRASSER, 1995; STRASSER *et al.*, 2000).

A taxa fotossintética líquida (assimilação fotossintética do carbono e transpiração) foi determinada entre 07 e 10 horas da manhã, por meio do sistema portátil de medição das trocas gasosas (LI-6200, Lincoln, NE, USA), utilizando uma câmara de 0,25 L com área foliar de medição de aproximadamente 6,8 cm². As medições foram realizadas utilizando a densidade de fluxo de fótons de 1.500 ± 250 μmols m⁻² s⁻¹; temperatura do ar de 32,27 ± 2,55 °C; temperatura da folha 33,85 ± 3,40 °C; umidade relativa do ar dentro da câmara 30,89 ± 8,90 %; concentração de dióxido de carbono 365,27 ± 20,21 μL L⁻¹ e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar circundante de 4,08 ± 1,14 kPa.

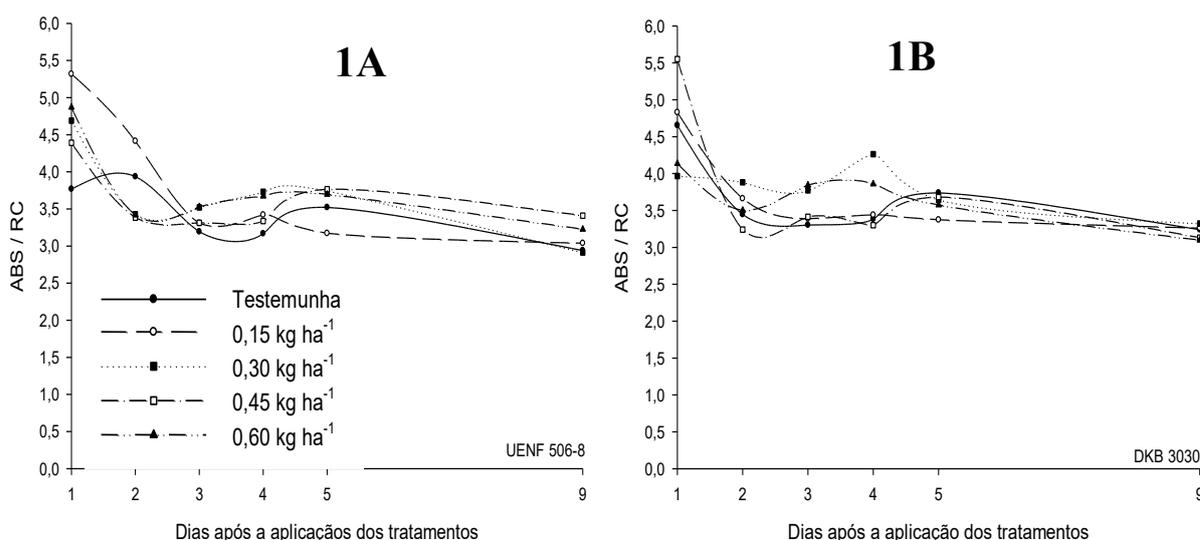
Aos 28 DAA determinou-se o índice da área foliar por meio de um medidor de área foliar de bancada LI-3100 (LICOR, Nebraska, USA), e a matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. Para tanto, as plantas foram cortadas rente ao solo, individualizando-se a parte aérea e raízes, e acondicionadas em uma estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 70 °C, por 72 horas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Figura 1A, os valores médios dos parâmetros fotossintéticos ABS/RC (energia absorvida por unidade de centro de reação ativo), para o híbrido UENF – 506-8, no primeiro dia após a aplicação (DAA), houve um aumento de 1,5 ABS/RC para a dose 0,15 kg ha⁻¹ quando comparada com a dose 0 (testemunha). As doses 0,30, 0,45 e 0,60 kg ha⁻¹ também tiveram uma elevação dos valores de 1,0; 0,9 e 1,1 ABS/RC respectivamente. No segundo dia as doses 0,30, 0,40 e 0,60 obtiveram uma queda dos valores de 0,4 ABS/RC, em relação à testemunha. No terceiro, quarto e quinto DAA, houve uma oscilação dos valores, e a partir do nono dia a planta começa a se recuperar, não tendo diferença entre as doses e a testemunha.

Na Figura 1B, os valores médios dos parâmetros fotossintéticos ABS/RC para o híbrido DKB 3030, no primeiro dia DAA. Logo foi superior em 0,9 ABS/RC para a dose 0,45 kg ha⁻¹ quando comparado com a testemunha, para a dose 0,15 kg ha⁻¹ o valor médio ABS/RC ficaram muito próximos ao da testemunha. Já para as doses 0,30 e 0,60 kg ha⁻¹ houve uma redução nos valores em 0,5 e 0,6 ABS/RC respectivamente. No segundo e terceiro DAA, os valores ABS/RC ficaram muito próximos e no quarto dia houve um aumento do valor da dose 0,30 kg ha⁻¹ em torno de 1 ABS/RC, em relação ao controle e a partir do quinto dia em diante esses valores começaram a se equilibrar não havendo mais praticamente diferença entre as doses utilizadas.

Figuras 1A e 1B – Valores médios dos parâmetros fotossintéticos ABS/RC (energia absorvida por unidade de centro de reação ativo), mensurados às 08 h, ao longo do período experimental, nos híbridos de milho UENF 506-8 (1A) e DBK 3030 (1B), em função das doses do herbicida mesotrione.

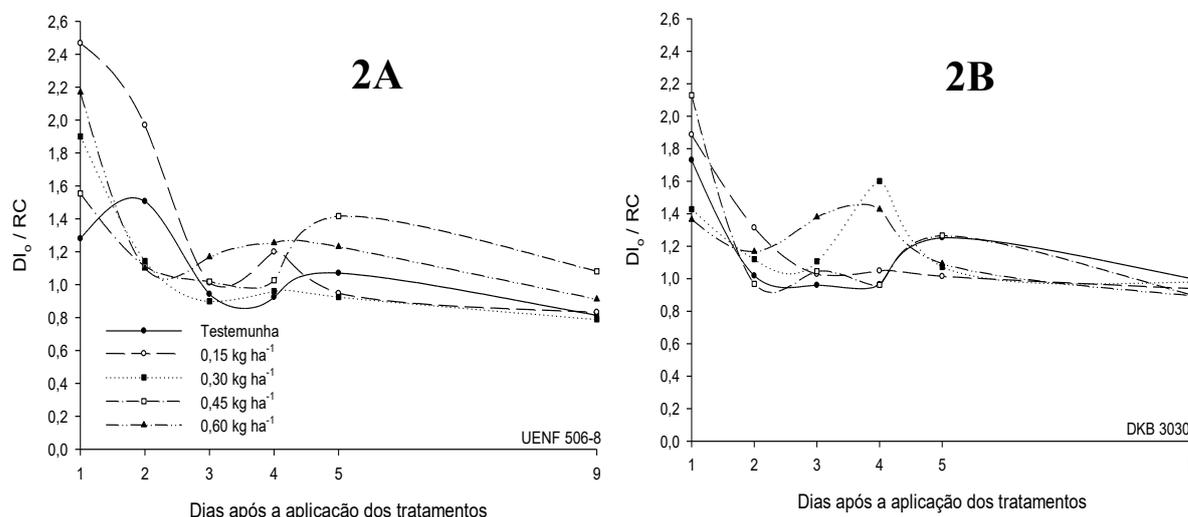


No primeiro dia após a aplicação do herbicida, para a dose 0,15 kg ha⁻¹, houve um aumento do valor DI/RC (energia dissipada por centro de reação), quando comparado com a testemunha, o mesmo ocorreu para as doses 0,30, 0,45, e 0,60 porém, com menor intensidade, como mostra a Figura 2A. A partir do segundo DAA, esses valores começaram a decrescer,

com pequenas oscilações no quarto e quinto DAA e a partir do nono dia a planta começou a se recuperar, não havendo mais diferença entre doses e testemunhas.

As doses 0,15 e 0,45 kg ha⁻¹ tiveram um aumento dos valores da energia dissipada DI₀/RC, quando comparado com a testemunha, enquanto as doses 0,30 e 0,60 kg ha⁻¹ tiveram um decréscimo dos valores no primeiro dia após a aplicação (Figura 2B). No segundo DAA há um decréscimo dos valores para a testemunha e para as doses 0,15 e 0,45 kg ha⁻¹, ficando menores que os valores obtidos com as doses 0,30 e 0,60 kg ha⁻¹. No terceiro e quarto dia, os valores DI₀/RC das doses 0,30 e 0,60 kg ha⁻¹ aumentaram em relação à testemunha e as doses 0,15 e 0,45 kg ha⁻¹. No quinto DAA, os valores da energia dissipada de todas as doses começaram a se equilibrar e a partir do nono dia, não houve mais diferença para as doses de mesotrione.

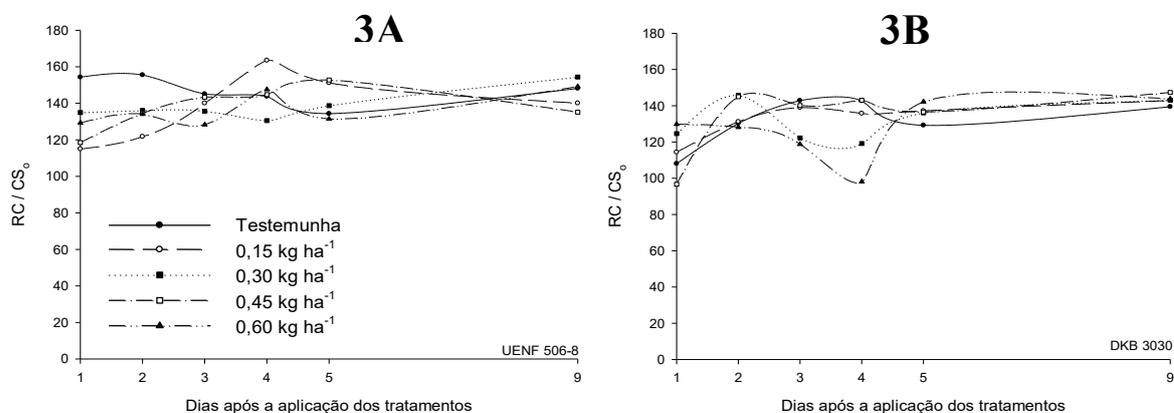
Figuras 2A e 2B – Valores médios dos parâmetros fotossintéticos DI₀/RC (energia dissipada por centro de reação ativo), mensurados às 08 h, ao longo do período experimental, nos híbridos de milho UENF 506-8 (2A) e DBK 3030 (2B), em função das doses do herbicida mesotrione.



Observar-se na Figura 3A, que os valores de densidade dos centros de reação ativos relacionados à redução da Qa(RC/CS₀), para todas as doses no primeiro DAA, foram inferiores que a testemunha, aumentando gradualmente no segundo e terceiro DAA, até que no quarto dia após a aplicação os valores nas doses 0,15, 0,45 e 0,60 kg ha⁻¹ igualaram e superaram o valor RC/CS₀ da testemunha, ficando apenas o valor da dose 0,30 kg ha⁻¹ inferior. No quinto DAA ocorreram algumas variações, e a partir do nono dia não se observou diferença nos valores de densidade dos centros de reação ativos.

No primeiro DAA, houve em decréscimo na dose 0,45 kg ha⁻¹, quando comparada com a testemunha, as demais doses tiveram valores de densidade dos centros de reação ativo relacionado à redução de Qa(RC/CS₀) maiores que a testemunha, a partir do segundo DAA houve um aumento dos valores RC/RS₀ para testemunha e para as doses 0,15 e 0,45 kg ha⁻¹, as demais doses tiveram pequeno decréscimo e no terceiro e quarto dia os valores começaram a se igualar, e no nono dia os valores passam a não ter mais diferenças (Figura 3B).

Figuras 3A e 3B – Valores médios dos parâmetros fotossintéticos RC/CS₀ (densidade dos centros de reação ativos, relacionados à redução da Q_a), mensurados às 08 h, ao longo do período experimental, nos híbridos de milho UENF 506-8 (3A) e DBK 3030 (3B), em função das doses do herbicida mesotrione

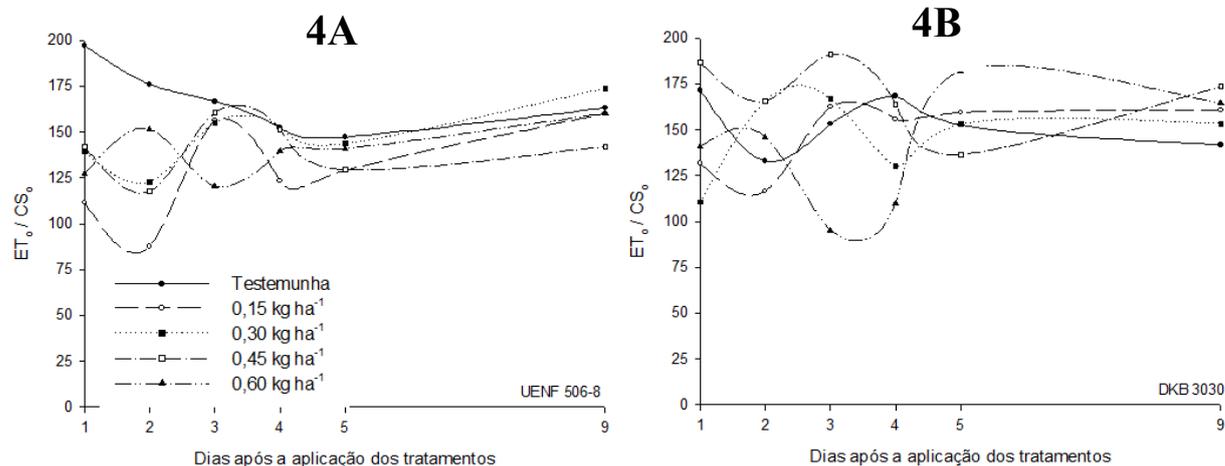


Todavia, a observação dos parâmetros fotossintéticos ABS/RC, DI₀/RC e RC/CS₀ permite inferir que as injúrias causadas ao aparato fotossintético nos cinco primeiros dias de avaliação, em função das doses de mesotrione utilizadas, não refletiram em comprometimento da fotossíntese mensurada ao nono dia, em relação à testemunha.

Os valores médios dos parâmetros fotossintéticos ET₀/CS₀ (relação da distribuição de energia por seção transversal da amostra), no primeiro dia após a aplicação (Figura 4A), para as diferentes doses do herbicida mesotrione mostraram-se inferiores ao valor encontrado em relação a testemunha. A partir do terceiro DAA, esses valores começaram a se igualar e após o nono dia não houve mais praticamente diferenças.

No primeiro DAA os valores ET₀/CS₀ encontrados no híbrido DKB 3030 (Figura 4B), para as doses utilizadas foram menores que a testemunha com exceção da dose 0,45 kg ha⁻¹. No segundo dia após a aplicação é observado uma queda significativa dos valores ET₀/CS₀ para a dose 0,60 kg ha⁻¹, enquanto para a dose 0,30 kg ha⁻¹, houve aumento desse valor. No quarto e quinto DAA, esses valores começam a se igualar e a partir do nono dia praticamente não houve diferenças entre os valores.

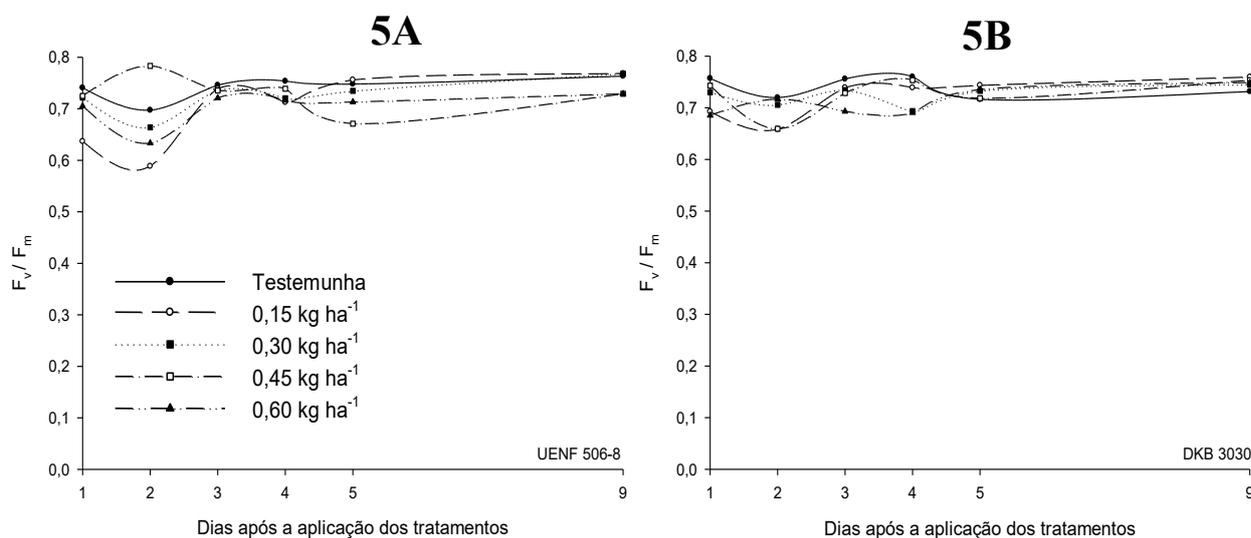
Figuras 4A e 4B – Valores médios dos parâmetros fotossintéticos ET₀/CS₀ (relação da distribuição de energia por seção transversal da amostra) mensurados às 08 h, ao longo do período experimental, nos híbridos de milho UENF 506-8 (4A) e DBK 3030 (4B), em função das doses de mesotrione.



Para o híbrido UENF 506-8 (Figura 5A) os valores da relação F_v/F_m (eficiência fotoquímica do PSII), no primeiro DAA, para as doses aplicadas, foram menores que a testemunha, indicando redução no fluxo de elétrons. No terceiro e quarto DAA esses valores se equilibraram, com uma pequena variação no quinto dia cuja dose $0,45 \text{ kg ha}^{-1}$ diminuiu. E a partir do nono dia não ocorreu mais diferença entre os tratamentos.

Os valores médios dos parâmetros fotossintéticos da relação F_v/F_m (eficiência fotoquímica do PSII), para o híbrido DKB 3030, ficaram abaixo, em relação a testemunha, no primeiro DAA (Figura 5B). No segundo dia os valores F_v/F_m das doses $0,30$ e $0,60 \text{ kg ha}^{-1}$ se igualaram à testemunha, já as doses $0,15$ e $0,45 \text{ kg ha}^{-1}$ tiveram uma redução dos valores. No quinto DAA os valores F_v/F_m das doses $0,15$ e $0,45 \text{ kg ha}^{-1}$ se igualaram à testemunha e as doses $0,30$ e $0,60 \text{ kg ha}^{-1}$ ocorreu uma queda nos seus valores. A partir do quinto DAA não foi mais observado diferença entre os valores.

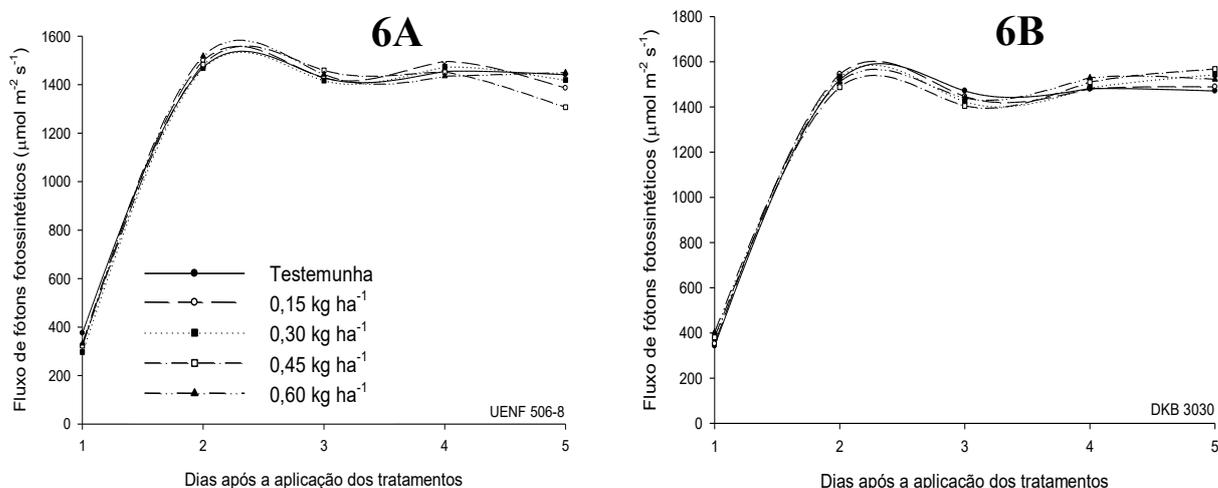
Figuras 5A e 5B – Valores médios dos parâmetros fotossintéticos relação F_v/F_m (eficiência fotoquímica do PS II), mensurados às 08 h, ao longo do período experimental, nos híbridos de milho UENF 506-8 (5A) e DKB 3030 (5B), em função das doses de mesotrione.



Com relação à distribuição de energia por seção transversal da amostra foliar (ET_o/CS_o) e a eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m), permite inferir que as injúrias causadas ao aparato fotossintético nos cinco primeiros dias de avaliação, em função das doses de mesotrione utilizadas, não refletiram em comprometimento da fotossíntese mensurada ao nono dia, em relação à testemunha.

Nas Figuras 6A e 6B não se verificou variação do parâmetro fotossintéticos do fluxo de fótons fotossintéticos em função das doses do herbicida utilizado, o que reflete em não comprometimento da fotossíntese

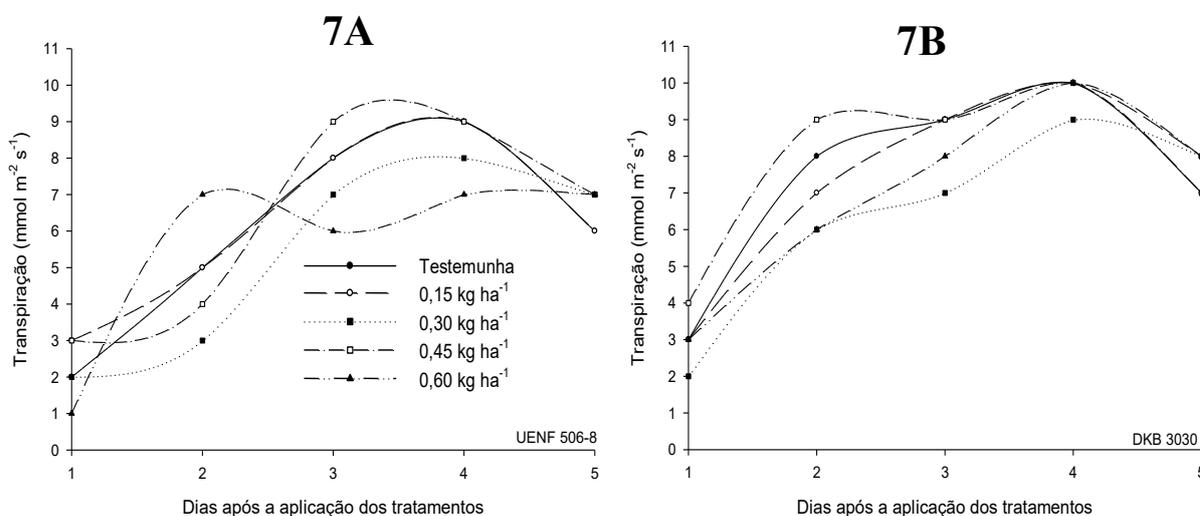
Figuras 6A e 6B – Valores médios dos parâmetros fotossintéticos fluxo de fótons fotossintéticos mensurados pela manhã, ao longo do período experimental, nos híbridos de milho UENF 506-8 (6A) e DBK 3030 (6B), em função das doses de mesotrione.



Os valores médios de transpiração para o híbrido UENF 506-8 no primeiro DAA (Figura 7A), na dose 0,60 kg ha⁻¹ foi menor que os valores médios da testemunha, já nos tratamentos com as doses 0,15 e 0,45 kg ha⁻¹ apresentaram valores maiores e a dose 0,30 kg ha⁻¹ foi igual à testemunha. No segundo DAA, houve aumento significativo do valor médio de transpiração da dose 0,60 kg ha⁻¹ reduzindo-se no terceiro dia e a partir do quinto dia não foi mais observado diferença entre os tratamentos.

Os valores médios de transpiração, no primeiro DAA para o híbrido DKB 3030 (Figura 7B), na dose 0,30 kg ha⁻¹ foi menor que a testemunha, já a dose 0,45 kg ha⁻¹ apresentou valor mais elevado. No segundo dia, houve uma elevação nos valores da transpiração para todos os tratamentos, sendo maior na dose 0,45 kg ha⁻¹ que na testemunha. Aos quatro DAA esses valores começaram a se igualar e no quinto dia essas diferenças foram mínimas.

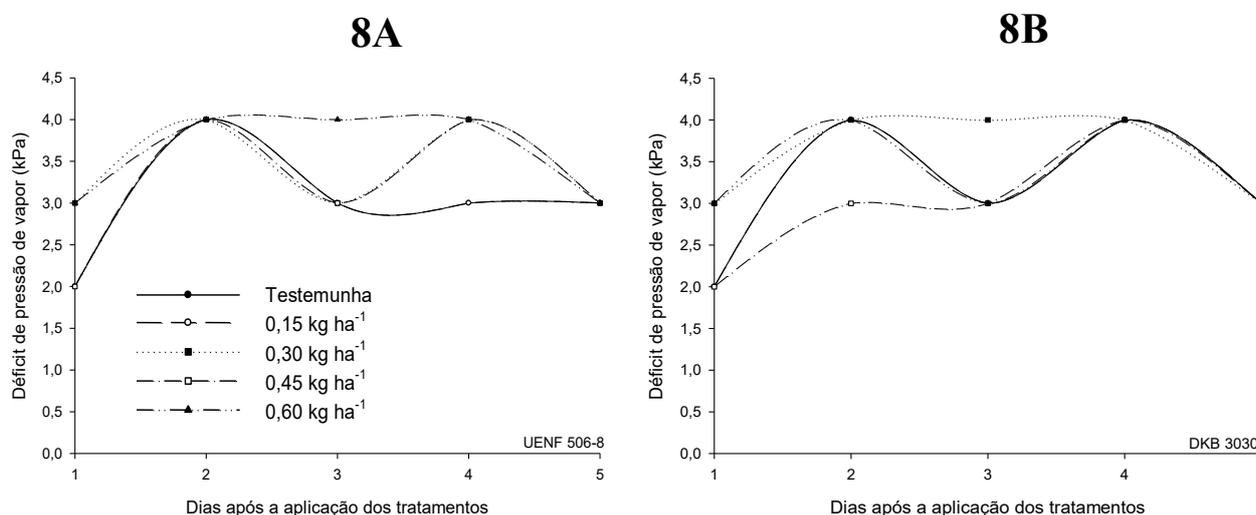
Figuras 7A e 7B – Valores médios dos parâmetros fotossintéticos de transpiração mensurada pela manhã, ao longo do período experimental, nos híbridos de milho UENF 506-8 (7A) e DBK 3030 (7B), em função das doses de mesotrione.



Na Figura 8A, os valores médios de déficit de pressão de vapor, para as doses 0,30 e 0,60 kg ha⁻¹ no híbrido UENF 506-8, foram maiores que na testemunha. No segundo dia, os valores dos tratamentos. No terceiro DAA, houve uma redução do déficit de pressão de vapor na testemunha e nos tratamentos das doses 0,15, 0,30 e 0,45 kg ha⁻¹, permanecendo constante apenas na dose 0,60 kg ha⁻¹. A partir do quinto DAA valores se igualaram em todos os tratamentos.

Para o híbrido DKB 3030, os valores médios de déficit de pressão de vapor (Figura 8B), no primeiro DAA nos tratamentos nas doses 0,30 e 0,60 kg ha⁻¹, foram maiores que na testemunha. No segundo dia esses valores se igualaram, com exceção da dose 0,45 kg ha⁻¹ que obteve maior déficit. No terceiro DAA, o déficit de pressão de vapor da dose 0,30 kg ha⁻¹ permaneceu maior que os demais valores. E a partir do quarto dia todos os valores se igualaram não tendo mais diferença entre os tratamentos.

Figuras 8A e 8B – Déficit de pressão de vapor mensurado pela manhã, ao longo do período experimental, nos híbridos de milho UENF 506-8 (8A) e DBK 3030 (8B), em função das doses de mesotrione.



A combinação dos herbicidas mesotrione e atrazina não afetou a fotossíntese nem o crescimento dos híbridos de milho UENF 506-8 e DKB 3030. Esses resultados estão em concordância com estudos mais recentes, como os de Silva *et al.* (2022), que verificaram que a aplicação de 105 g ha⁻¹ de mesotrione associada a 280 g ha⁻¹ de atrazina não causou danos significativos ao aparelho fotossintético nem foi eficaz em reduções expressivas no desenvolvimento das plantas.

Os resultados da análise estatística indicam que não houve efeito significativo das doses de mesotrione sobre os híbridos de milho para as variáveis avaliadas, exceto para MSPA (massa seca da parte aérea), onde os blocos apresentaram diferença estatisticamente significativa ($\alpha=0,05$) (Tabela 1). Esse resultado está em concordância com Creech *et al.* (2004), que verificaram que a aplicação de mesotrione na dose de 105 g ha⁻¹ associada a 280 g ha⁻¹ de atrazine não causou prejuízos significativos ao crescimento das plantas.

A ausência de efeitos negativos das doses de mesotrione sobre a altura das plantas (ALT) e área foliar (AF) reforça a seletividade do herbicida para a cultura do milho, conforme relatado por Silva *et al.* (2022). Segundo esses autores, a cultura do milho apresenta mecanismos de degradação do mesotrione, o que impede danos severos ao aparato fotossintético (Tabela 1).

Entretanto, o coeficiente de variação (CV) observado para a massa seca da raiz (MSR) e área foliar (AF) foi relativamente alto, sugerindo grande variabilidade entre os tratamentos.

Resultados semelhantes foram relatados por Ferreira *et al.* (2020), que destacaram que a variabilidade genética entre híbridos pode influenciar a resposta aos herbicidas, especialmente em condições ambientais distintas (Tabela 1).

Em suma, os dados obtidos corroboram estudos anteriores e indicam que a utilização de mesotrione em diferentes doses, quando associado ao atrazine, não compromete significativamente o desenvolvimento dos híbridos de milho estudados. Para futuras pesquisas, recomenda-se a avaliação de outros parâmetros fisiológicos, como eficiência no uso da água e fluorescência da clorofila, para um melhor entendimento dos impactos do herbicida na cultura do milho.

Tabela 1 - Análise de variância dos efeitos dos tratamentos sobre as variáveis: número de folhas (NF), altura (ALT), matéria seca de raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA), e área foliar (AF) dos híbridos de milho UENF 506-8 e DKB 3030 em relação às doses de herbicidas.

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios				
		NF	ALT	MSR	MSPA	AF
Blocos	3	0,5583 ^{ns}	0,0352 [*]	9,7964 ^{ns}	30,0000 ^{ns}	69419,8783 ^{ns}
Híbridos	1	0,0250 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	22,1861 ^{ns}	40,0000 ^{ns}	458,0582 ^{ns}
Doses de Mesotrione	4	0,2125 ^{ns}	0,0098 ^{ns}	7,8280 ^{ns}	32,1875 ^{ns}	69249,1042 ^{ns}
Híbridos x Doses	4	0,4625 ^{ns}	0,0045 ^{ns}	24,1857 ^{ns}	32,1875 ^{ns}	61107,8612 ^{ns}
Resíduo	27	0,5769	0,0075	17,9893	26,7593	131823,032
Média	-	8,275	0,880 (m)	8,134 (g)	13,500 (g)	1679,370 (cm ²)
CV (%)	-	9,18	9,83	52,74	38,32	21,62

^{ns} = Não-significativo pelo teste F; ^{*} = significativo a 5% de probabilidade

O uso de herbicidas seletivos na cultura do milho (“*Zea mays*” L.) tem sido amplamente estudado devido à necessidade de controle eficiente de plantas daninhas sem comprometer o desenvolvimento da cultura. Entre os principais herbicidas utilizados está o mesotrione, um inibidor da enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD), que interfere na biossíntese de carotenoides, levando à clorose e necrose das plantas suscetíveis (MITTANCK *et al.*, 2021).

A eficiência do mesotrione tem sido amplificada quando associado ao atrazine, um inibidor da fotossíntese no fotossistema II. Estudos demonstram que essa combinação melhora o espectro de controle de plantas daninhas e reduz a necessidade de aplicações sucessivas (SILVA *et al.*, 2022). No entanto, a seletividade do herbicida pode variar entre diferentes híbridos de milho, tornando essencial a avaliação do impacto dessas substâncias sobre os parâmetros fisiológicos e morfológicos da cultura (FERREIRA *et al.*, 2020).

4 CONCLUSÃO

O herbicida mesotrione associado ao herbicida atrazina, demonstraram serem eficazes no controle de plantas daninhas no cultivo de milho, especialmente contra espécies de folhas largas e gramíneas, quando aplicado nas doses recomendadas. Sua ação de inibição da enzima HPPD provoca a morte das plantas sem causar danos prejudiciais à cultura do milho, desde que sejam observadas as condições ideais de aplicação. No entanto, em condições de estresse ambiental, como falta de água ou solos de baixa fertilidade, a utilização concentrada ou doses excessivas do herbicida pode afetar o desenvolvimento do milho, prejudicando sua fotossíntese

e o acúmulo de nutrientes essenciais. Assim, é fundamental adotar um manejo integrado, que inclua a escolha cuidadosa no momento da aplicação, o controle de fatores ambientais e a gestão de culturas, para garantir a eficiência do controle de plantas eficientes e minimizar os impactos no milho. O uso responsável do mesotrione e atrazina, alinhado a boas práticas agrícolas, assegura a sustentabilidade da produção e a maximização da produtividade.

REFERÊNCIAS

- BOLHÀR-NORDENKAMPH, H. R. *et al.* Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Funct. Ecol.**, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989.
- CREECH, J. E.; STREIBIG, J. C.; LUXTON, S. J. The effect of mesotrione on maize and weed competition. **Weed Science**, v. 52, n. 1, p. 45-50, 2004.
- FERREIRA, L. G.; SILVA, A. A.; REZENDE, C. A. Efeito de herbicidas na cultura do milho: seletividade e produtividade. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 2, p. 150-162, 2020.
- MITTANCK, C. M.; WAGNER, R.; JOHNSON, W. G. Mechanisms of mesotrione selectivity and weed control efficacy. **Pest Management Science**, v.77, n.6, p.2890-2902, 2021.
- MOURA, M. L.; SILVA, E. P.; SOUZA, L. M. **Impactos do uso de herbicidas na microbiota do solo e na biodiversidade em cultivos agrícolas.** *Revista Brasileira de Herbicidas*, v.19, n.4, p.345-360, 2020.
- OLIVEIRA, R. S.; SANTOS, P. B.; COSTA, F. L. Efeitos fisiológicos de herbicidas na cultura do milho. **Ciência Rural**, v.51, n.2, e20200361, 2021.
- RIBEIRO, D. N.; SILVA, L. A.; KARAM, D. **Cultura do milho: importância econômica e manejo de plantas daninhas.** Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica 237, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1134200>
- SANTOS, D. C.; FERREIRA, J. L.; OLIVEIRA, S. S. Seletividade do mesotrione na cultura do milho: Estudo das dosagens e condições ambientais. **Revista de Ciências Agrárias**, v.43, n.3, p.572-586, 2022.
- SCHOLZ, M., TAVARES, R. S.; MARQUES, C. A. O mecanismo de ação do mesotrione e sua aplicação no controle de plantas daninhas em milho. **Pesticide Science and Technology**, v.16, n.2, p.110-118, 2020.
- SILVA, A. F.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. In: SILVA, A. F. (Org.). **Plantas Daninhas: ecologia e manejo.** Lavras: UFLA, p. 321–347, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/handle/1/45264>.
- SILVA, N. M.; ALMEIDA, R. E. M.; COSTA, A. G. F.; SILVA, A. A. da. Sistema de consórcio de milho com gramíneas forrageiras e o uso de doses reduzidas do herbicida mesotrione. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 2, p. 456-465, 2022.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHNEN, P. **Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation**. London: Taylor & Francis, p. 445–483. 2000.

STRASSER, R. J.; STRASSER, B. J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test. In: Mathis, P. (Ed.) **Photosynthesis: From Light to Biosphere**, v.5. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 977–980, 1995.

Recebido em: 05 de fevereiro de 2025

Aceito em: 13 de junho de 2025