



Restrição luminosa e o manejo químico com glyphosate sob a resposta fisiológica de *Urochloa brizantha*

Light restriction and chemical management with glyphosate under the physiological response of *Urochloa brizantha*

DOI: 10.55905/revconv.17n.1-397

Recebimento dos originais: 22/12/2023

Aceitação para publicação: 26/01/2024

Matheus Sales Nogueira e Silva

Mestre em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (ICA)

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: matheussnogueira@hotmail.com

Victor Augustus Vasconcelos de Oliveira

Doutorando em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (ICA)

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: victoravoliveira@hotmail.com

Luan Mateus Silva Donato

Doutor em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (ICA)

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: luandonato@ufmg.br

Richardson Fernandes de Souza

Mestrando em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (ICA)

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: richadsonvzd100@gmail.com

Sérgio Murilo Duarte

Mestre em Produção Animal

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (ICA)

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: smdduarte@gmail.com

Guilherme Augusto de Paiva Ferreira

Mestre em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (ICA)

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: guilhermepaiva017@gmail.com



Rodrigo Eduardo Barros

Doutor em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (ICA)

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: rodrigo.edb@hotmail.com

Leonardo David Tuffi Santos

Doutor em Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (ICA)

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: ltuffi@ufmg.com

RESUMO

A ação do glyphosate na fisiologia e no controle de *Urochloa brizantha* cultivada sob restrição luminosa é pouco conhecida. Buscou-se avaliar a influência da restrição luminosa e da aplicação de glyphosate na fisiologia de *U. brizantha* e sua relação com o controle pelo herbicida. O experimento foi conduzido em campo no delineamento em blocos casualizados, com 5 repetições, no esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas alocaram-se três tipos de ambientes, sendo pleno sol, sombreamento intermitente com três horas de exposição direta de luz e sombreamento contínuo, e nas subparcelas as doses 0, 480, 960 e 1440 g. e. a. ha⁻¹ de glyphosate. Aos 14 dias após aplicação foram avaliados o controle pelo glyphosate, a taxa fotossintética, condutância estomática e a taxa transpiratória, a eficiência quântica do fotossistema II, taxa de transporte de elétrons e a razão entre a fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) e determinou-se a eficiência do uso da água (EUA). O controle foi acima de 80% no ambiente com sombreamento contínuo a partir da dose 995 g ha⁻¹ enquanto no pleno sol o controle não atingiu 60% na maior dose testada. A *U. brizantha* teve redução na taxa fotossintética de acordo com aumento das doses de glyphosate testadas. As doses de glyphosate causaram redução na EUA com ajuste quadrático da regressão ajustada. O sombreamento contínuo teve a EUA 36% menor que os demais ambientes, entretanto essa variável não diferiu entre o pleno sol e o sombreamento intermitente. A *U. brizantha* teve seu aparato fotossintético comprometido na menor dose testada (480 g ha⁻¹) e isso foi agravado com a exposição das plantas aos sombreamentos, com reduções na taxa de transporte de elétrons de até 70%. As plantas não apresentaram variação na relação Fv/Fm entre os ambientes. Conclui-se que o glyphosate altera negativamente a fisiologia da *U. brizantha* independente da restrição luminosa. A ação do glyphosate é mais eficiente em planta sob restrição luminosa, com maiores dados nas variáveis fisiológicas analisadas.

Palavras-chave: sombreamento, fisiologia vegetal, fluorescência da clorofila, manejo cultural, capim-braquiário.

ABSTRACT

The action of glyphosate on the physiology and control of *Urochloa brizantha* cultivated under light restriction is little known. We sought to evaluate the influence of light restriction and the application of glyphosate on the physiology of *U. brizantha* and its relationship with herbicide control. The experiment was conducted in the field in a randomized block design, with 5 replications, in a split-plot scheme. Three types of environments were allocated to the plots, being full sun, intermittent shading with three hours of direct light exposure and continuous shading,



and in the subplots doses of 0, 480, 960 and 1440 g. It is. The. ha⁻¹ of glyphosate. At 14 days after application, glyphosate control, photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, quantum efficiency of photosystem II, electron transport rate, the ratio between variable and maximum fluorescence (Fv/Fm) and (EUA) was determined. Control was above 80% in the environment with continuous shading from the dose of 995 g ha⁻¹ while in full sun the control did not reach 60% at the highest dose tested. *Urochloa brizantha* had a reduction in photosynthetic rate according to the increase in the doses of glyphosate tested. Glyphosate doses caused a reduction in AUS with quadratic adjustment of the adjusted regression. Continuous shading had US 36% lower than other environments, however this variable did not differ between full sun and intermittent shading. *Urochloa brizantha* had its photosynthetic apparatus compromised at the lowest dose tested (480 g ha⁻¹) and this was aggravated by exposing the plants to shading, with reductions in the electron transport rate of up to 70%. The plants did not show variation in the Fv/Fm ratio between environments. It is concluded that glyphosate negatively alters the physiology of *U. brizantha* regardless of light restriction. The action of glyphosate is more efficient in plants under light restriction, with greater data on the physiological variables analyzed.

Keywords: shading, plant physiology, chlorophyll fluorescence, cultural management, palisade-grass.

1 INTRODUÇÃO

A *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (syn. *Brachiaria brizantha*) cultivar Marandu é a espécie forrageira mais utilizada nos trópicos e somente no Brasil representa cerca de 60 milhões de hectares plantados (DUARTE *et al.*, 2019). Essa distribuição é ainda maior se considerar sua incidência em locais onde não foi cultivada ou não é desejada. Como forrageira é uma espécie vigorosa e de alta produção de biomassa. Entretanto, é encontrada com frequência na condição de planta daninha, causando diversos danos econômicos às culturas de interesse devido seu rápido crescimento, adaptação a diferentes tipos de solo, utilização do espaço e consumo de água e nutrientes (SANTOS *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2019).

Entre as diversas formas de controle de plantas daninhas o manejo químico é o mais utilizado para essa espécie devido ao baixo custo e funcionalidade. Todavia, a *U. brizantha* cv. Marandu é altamente competitiva e de crescimento rápido e em casos de plantas já estabelecidas pode exigir doses elevadas para ser controlada de forma eficiente (MAPA, 2023; LIMA *et al.*, 2019). Porém, altas doses aliada ao manejo inadequado desses produtos pode trazer prejuízos econômicos, sociais e ambientais à sociedade (DELLAMATRICE *et al.*, 2014; PEÑA MARTÍNEZ *et al.*, 2018).



Os produtos à base de glyphosate se destacam no Brasil e no mundo como o herbicida mais utilizado. Somente no Brasil, no ano de 2022, atingiu cerca de 231 toneladas de ingrediente ativo comercializado (IBAMA, 2022). Entre os motivos para a grande comercialização do glyphosate está o fato dele ser de amplo espectro, sistêmico e de baixo custo (DUKE; POWLES, 2008; DILL *et al.*, 2010). Entretanto, para realizar um controle eficiente, barato e sustentável de plantas daninhas tem sido bastante adotado o manejo integrado, que utiliza mais de uma forma de controle para reduzir os danos causados por essas plantas (SILVA; SILVA, 2007).

A exposição das plantas em restrição luminosa pode ser um fator auxiliar no manejo integrado de plantas daninhas. A restrição luminosa pode ser observada em sistemas integrados como integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF), integração-lavoura-pecuária (ILP), integração-lavoura-floresta (ILF), cultivos de fruteiras, florestas e cafeeiros. As condições impostas em ambientes com restrição luminosa podem afetar a fisiologia, morfologia e anatomia das plantas daninhas e consequentemente sua sensibilidade aos herbicidas.

Ainda pouco se conhece da influência da restrição luminosa na ação do herbicida glyphosate nas plantas e seu aparato fotossintético. Por mais que o herbicida glyphosate não atue na fotossíntese, sabe-se que seus efeitos podem causar alterações fisiológicas nas plantas tratadas (JIANG *et al.*, 2011).

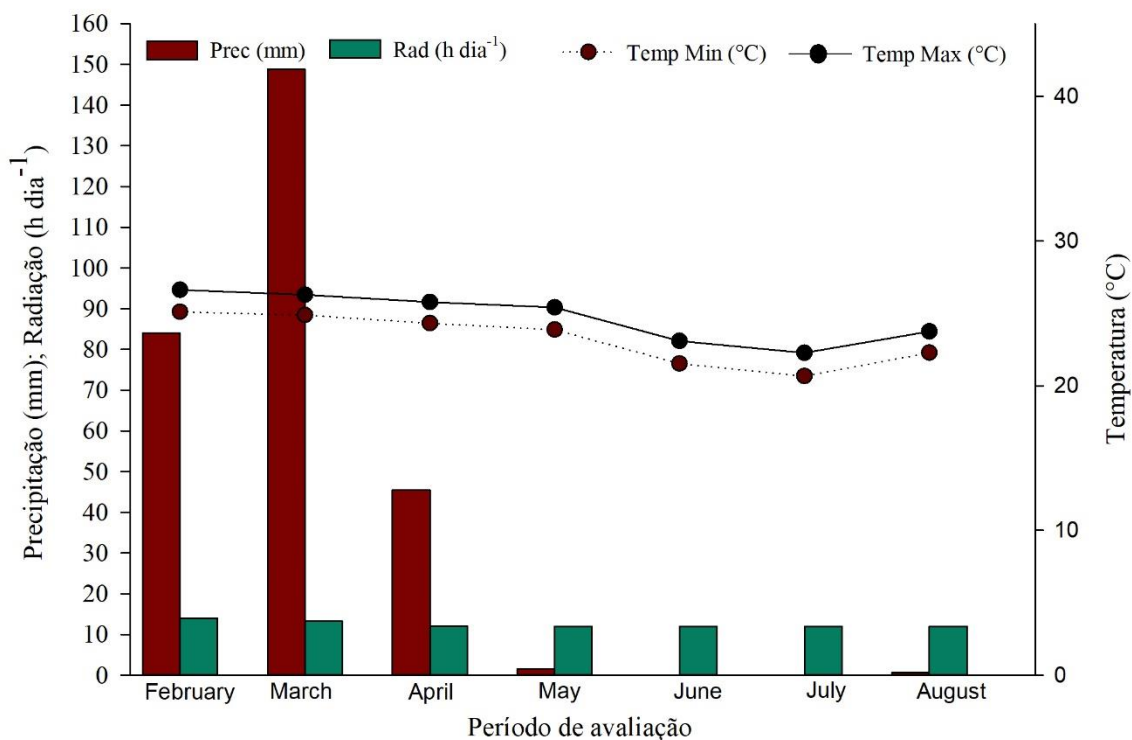
Diante do exposto, o objetivo com esse estudo foi avaliar a influência da restrição luminosa e da aplicação de glyphosate na fisiologia e no controle de *U. brizantha* cultivar Marandu.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, localizado na longitude de 43°50'18.31"W, na latitude de 16°40'59.22"S e a 650 m de altitude. O clima da região é classificado por Köppen, como Aw (Tropical com inverno seco) (ALVARES *et al.*, 2013), os dados de precipitação, radiação e temperatura do período experimental estão expressos na Figura 1.



Figura 1 – Precipitação (Prec), horas de radiação por dia (Rad), temperatura mínima (Temp min) e temperatura máxima (Temp max) no período de condução do experimento



Fonte: Inmet, 2019. Figura elaborada pelo autor.

O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo Háplico com as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm: pH em água: 6,8; P Mehlich (mg dm⁻³): 2,61; P Remanescente (mg L⁻¹): 31,74; K (mg dm⁻³): 3,48; Ca (cmolc dm⁻³): 6,1; Mg (cmolc dm⁻³): 1,7; Al (cmolc dm⁻³): 0,00; H+Al (cmolc dm⁻³): 1,3; SB (cmolc dm⁻³): 7,81; t (cmolc dm⁻³): 7,81; m (%): 0; T (cmolc dm⁻³): 9,11. A caracterização granulométrica apresentou, respectivamente: 30, 38 e 32 dag kg⁻¹ de areia, silte e argila, sendo, portanto, de textura média.

O experimento foi esquematizado em parcelas subdivididas com cinco repetições no delineamento em blocos casualizados, totalizando 60 unidades experimentais. Nas parcelas alocaram-se três diferentes ambientes em função da luminosidade, sendo pleno sol, sombreamento intermitente com três horas diárias de sol e sombreamento contínuo, e nas subparcelas as doses de 0 (testemunha), 480, 960 e 1440 g e. a. ha⁻¹ de glyphosate. As parcelas experimentais possuíram dimensões de 4x4 metros (16m²) e foram demarcadas em área aberta, sem interferência de árvores e arbustos, com solo previamente preparado com grade niveladora.



Nas parcelas foi semeada a *Urochloa brizantha* em condições de campo no espaçamento 0,5 metros entre linhas.

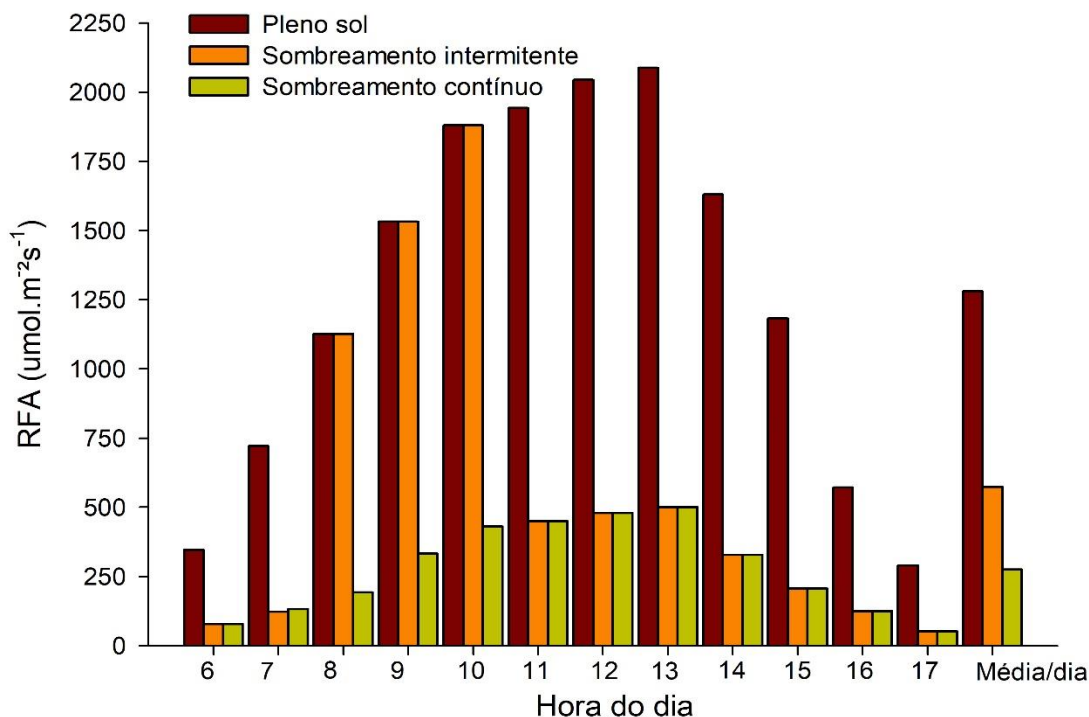
A adubação foi realizada com o adubo formulado 4-30-10 (N-P₂O₅-K₂O) na quantidade de 300 kg ha⁻¹ e a semeadura foi feita com 8 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis. Na ausência de precipitação, foram realizadas irrigações diárias de forma a elevar a umidade do solo até a capacidade de campo. Tubos de polietileno foram distribuídos ao longo das parcelas experimentais e instalação de microaspersores modelo Top RSB, pressão de serviço de 15 mca, vazão nominal de 90 L ha⁻¹.

Nas parcelas com sombreamento contínuo e descontínuo (intermitente) foi construída uma estrutura para sustentar o uso de telas de polietileno preto (sombrite), restringindo 70% da radiação solar. As estruturas permitiam a movimentação do sombrite para os tratamentos com sombreamento descontínuo, com intuito de fornecer radiação direta de 3 horas entre às 8:00 e 11:00 da manhã.

Nas diferentes condições de luminosidade determinou-se a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) com o aparelho Ceptômetro (modelo AccuPar LP-80, Decagon Devices Inc, Pullman, WA, USA), para caracterização dos ambientes (Figura 2).



Figura 2 – Radiação fotossinteticamente ativa nos diferentes ambientes



Fonte: os autores.

Após o plantio da *U. brizantha*, ocorrido em fevereiro de 2019, foram realizados quatro cortes de uniformização a cada 30 dias para estimular o perfilhamento e a uniformidade das parcelas. Após cada corte, aplicou-se o equivalente por parcela a 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, com uréia agrícola (45% N). Após o terceiro corte de uniformização, as plantas foram climatizadas nos respectivos ambientes por 60 dias até a aplicação do herbicida.

O herbicida foi aplicado por meio de pulverizador costal (Herbicat, Catanduva – SP, Brasil) pressurizado a CO₂, munido de barra possuindo ponta modelo Teejet AL8002 (Teejet Technologies, Louisville – KY, USA) e válvula reguladora de pressão (modelo GP15S, Enerpac, Menomonee Falls, Wisconsin, USA) constante a 200 kPa, com o volume de 250 L ha⁻¹ de calda. Foi utilizado no momento da aplicação barreiras de pvc para evitar a deriva e a contaminação das subparcelas paralelas. As subparcelas possuíam área de 4 m² com 4 linhas de cultivo de *U. brizantha* para avaliação.

Aos 14 dias após a aplicação (DAA) foram realizadas as análises fisiológicas nas plantas de *U. brizantha* utilizando o analisador de gases no infravermelho (IRGA, modelo LcPRO-SD,



Analytical Development, Hoddesdon, Reino Unido) e o fluorômetro (modelo Chlorophyll *Fluorometer*, OPTI-SCIENCES, Hudson, Nova Hampshire, USA). O procedimento foi realizado entre 8 e 11 horas da manhã no terço médio de quatro folhas completamente expandidas por subparcela. Com aparelho IRGA foram avaliados a taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ao vapor de água (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória (E , $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e estimada a eficiência do uso da água ($EUA - \text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) dada pela relação entre a taxa fotossintética e a quantidade de água transpirada.

Concomitantemente, as análises realizadas com auxílio do fluorômetro estimaram a eficiência quântica do fotossistema II, a taxa de transporte de elétrons ($ETR - \mu\text{Mols elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima (F_v/F_m). O F_v/F_m foi estimado utilizando pinças auxiliares do aparelho que permite que a leitura seja feita com a folha em no mínimo 30 minutos completamente no escuro, onde é possível captar a fluorescência da planta.

Ainda, aos 14 DAA foram realizadas avaliação visual atribuindo notas de 0 a 100%, onde 0 representa planta não intoxicada e 100% planta morta.

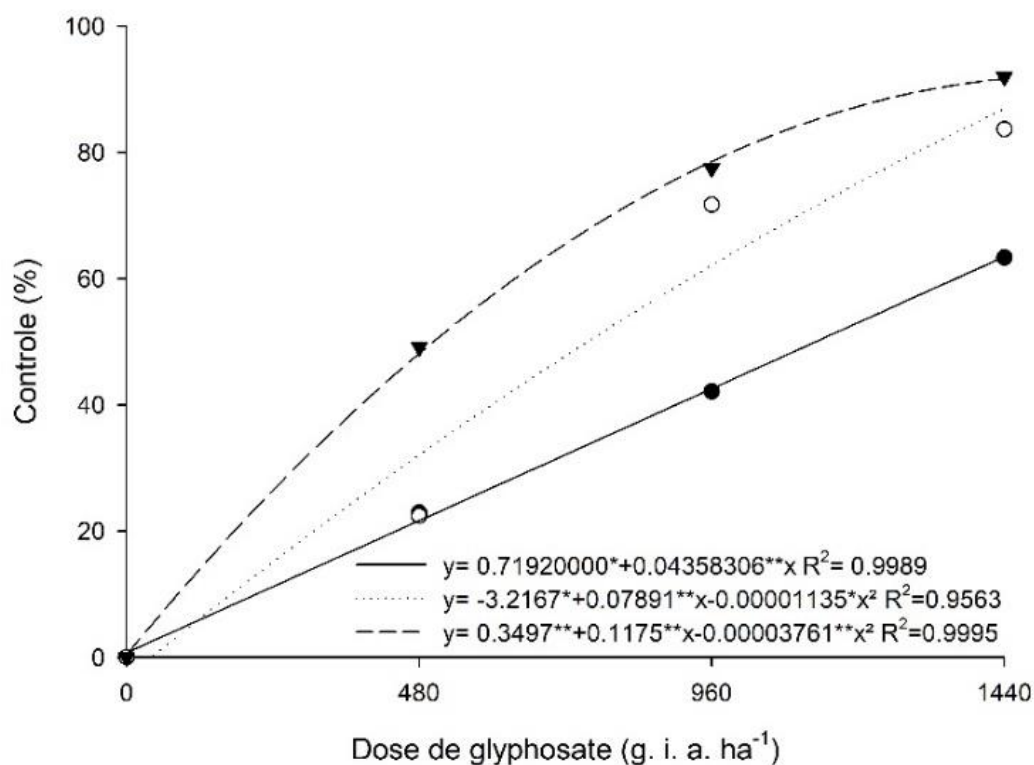
Os dados foram considerados normais pelo teste de Shapiro – Wilk sendo realizada a análise de variância. Quando a interação entre os ambientes e as doses foi significativa, foram ajustadas as equações de regressão. Quando a interação não significativa foi realizada para os ambientes o teste de Tukey a 5% e para as doses o ajuste de equações de regressão. Foi feita a análise de correlação de Pearson considerando todas as variáveis estudadas. As análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico R Studio versão 3.3.1 (R Core Team, 2017).

3 RESULTADOS

O sombreamento contínuo possibilitou 80% de controle da *U. brizantha* aos 14 DAA na dose 995 g ha^{-1} . Enquanto as plantas cultivadas a pleno sol necessitam de doses acima da máxima testada para ter 80% de controle aos 14 DAA, chegando a cerca de 60% de controle com a pior dose aplicada nesse ambiente (Figura 3). Houve interação significativa entre os ambientes e as doses de glyphosate ($P \leq 0,05$), onde as plantas submetidas aos sombreamentos tiveram comportamento da equação quadrático e o pleno sol linear.



Figura 3 – Porcentagem de Controle de *Urochloa brizantha* sob diferentes níveis de sombreamento e doses de glyphosate, aos 14 dias pós-aplicação do herbicida



Onde, (●; —) pleno sol, (○;) sombreamento intermitente e (▼; ----) sombreamento contínuo. ** significativo a 1 % e * significativo a 5 % pelo teste t.

Fonte: os autores.

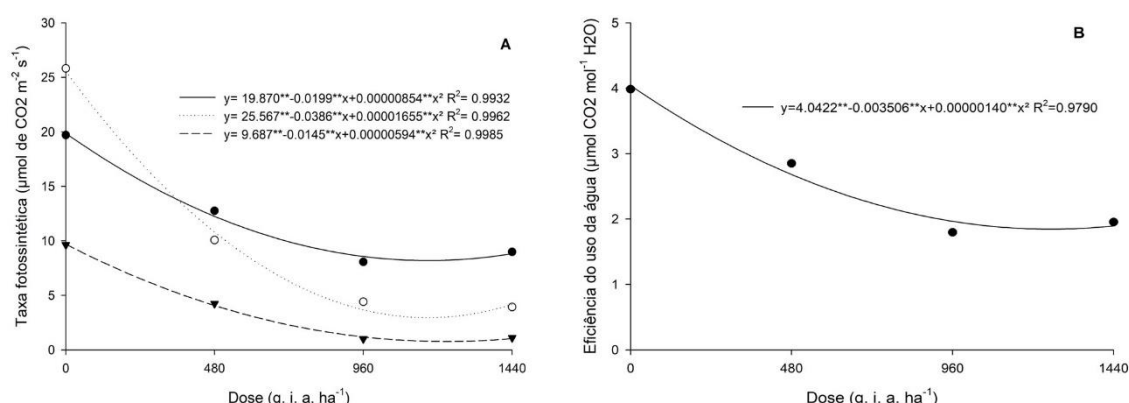
A taxa fotossintética da *U. brizantha* reduziu em função do aumento das doses de glyphosate em todos os ambientes testados (Figura 4A). A fotossíntese foi influenciada pela interação ($P \leq 0,05$) entre os ambientes testados e as doses de glyphosate, sendo em torno de 88% e 57% menor no sombreamento contínuo e intermitente, respectivamente, em relação ao pleno sol na maior dose de herbicida. Entre a testemunha (dose zero) para a dose testada, a redução da taxa fotossintética foi de 54%, 85% e 90% para o pleno sol, sombreamento intermitente e sombreamento contínuo, respectivamente (Figura 4A), com maior efeito negativo do herbicida sendo observado nos ambientes com restrição luminosa. A redução da fotossíntese em todos os ambientes teve caráter quadrático com o ponto de máximo de redução da fotossíntese na dose 1.160 g ha⁻¹ de glyphosate.

A eficiência no uso da água reduziu conforme o aumento da dose de glyphosate com efeito quadrático ($P \leq 0,05$) e não houve interação ($P > 0,05$) entre o ambiente e as doses testadas



(Figura 4B). A aplicação de doses superiores a 920 g. i. a. ha⁻¹ de glyphosate ocasionaram redução de aproximadamente 50% na eficiência do uso da água por *U. brizantha*, em comparação as plantas testemunhas (Figura 3B).

Figura 4 – Doses de glyphosate sobre a Taxa fotossintética (A) e eficiência no uso da água (B) de *Urochloa brizantha* aos 14 dias após a aplicação



Onde, (●; —) pleno sol, (○;) sombreamento intermitente e (▼; ----) sombreamento contínuo. ** significativo a 1 % e * significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: os autores.

Urochloa brizantha sob sombreamento contínuo de 70% apresentou menor eficiência no uso da água em comparação a plantas sob outras condições de cultivo (Tabela 1). Entretanto, não houve diferença ($P > 0,05$) nessa variável quando do cultivo das plantas no pleno sol e no sombreamento intermitente. *U. brizantha* ao ser submetida a três horas de sol direto por dia e 70% de sombra no restante do período luminoso mantém a utilização da água captada de forma eficiente como em condições de pleno sol (Tabela 1).

Tabela 1 – Condições de luminosidade no ambiente de cultivo sobre a eficiência no uso da água de *U. brizantha* aos 14 dias após aplicação do glyphosate

Ambiente de cultivo	Eficiência no uso da água
Pleno sol	3,15a
Sombreamento intermitente	2,80a
Sombreamento contínuo	1,99b
CV 1 (%)	18,00
CV 2 (%)	41,00

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV 1: coeficiente de variação das parcelas (ambientes); CV 2: coeficiente de variação das subparcelas (doses).

Fonte: os autores.

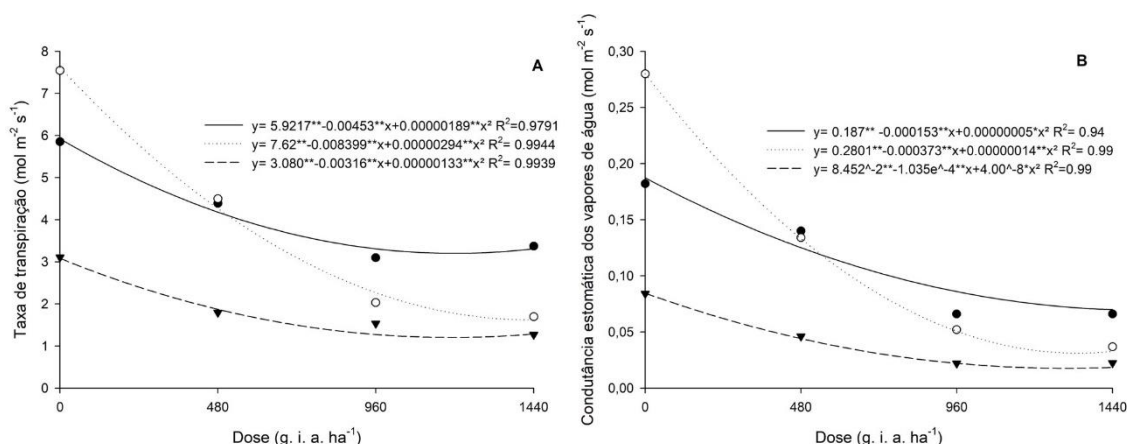


Com o aumento das doses de glyphosate observou-se redução na taxa de transpiração assim como na condutância estomática da *U. brizantha*, principalmente quando submetidas a restrição luminosa (Figura 5).

No sombreamento intermitente houve redução máxima de 78,4% na taxa de transpiração da *U. brizantha* na dose de 1.428 g ha⁻¹, já no sombreamento contínuo a dose de 1.190 g ha⁻¹ ocasionou redução de 60% enquanto no pleno sol essa mesma dose causou queda de 50% na transpiração.

A condutância estomática da *U. brizantha* reduziu 89% no sombreamento intermitente na dose 1.332 g ha⁻¹ e 98,2 % na dose 1.293 g ha⁻¹ no sombreamento contínuo. Entretanto, a *U. brizantha* cultivada no pleno sol teve redução máxima de 61,2% na condutância estomática na dose estimada de 1.530 g ha⁻¹.

Figura 5 – Glyphosate sobre a taxa de transpiração (A) e condutância estomática (B) de *Urochloa brizantha* cultivada sob diferentes condições de luminosidades



Onde, (●; —) pleno sol, (○;) sombreamento intermitente e (▼; ----) sombreamento contínuo. ** significativo a 1 % e * significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: os autores.

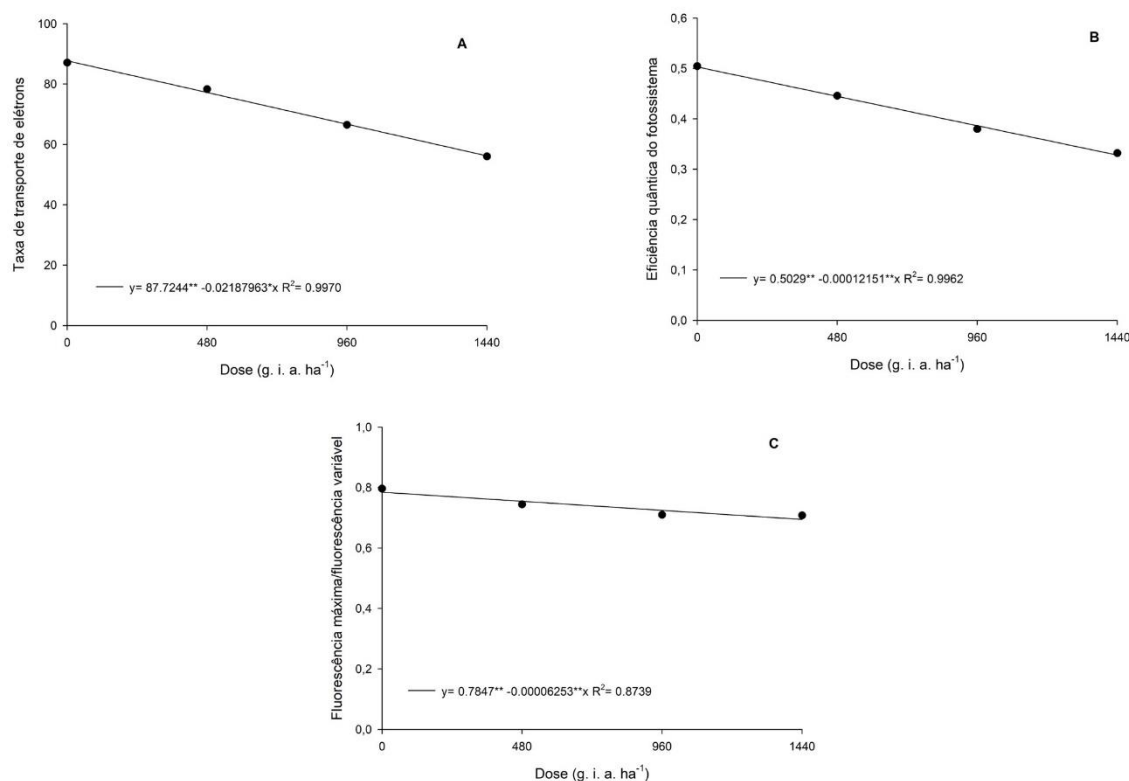
O glyphosate ocasionou decréscimo linear ($P \leq 0,05$) na taxa de transporte de elétrons, eficiência quântica do fotossistema II e a razão entre a fluorescência variável e máxima da *U. brizantha* aos 14 DAA, independentemente do ambiente de cultivo (Figura 6). A taxa de transporte de elétrons teve uma redução de 36% da dose zero para a maior dose testada (Figura 6A), enquanto a eficiência quântica do fotossistema caiu 34,7% (Figura 6B).

A razão entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima da *U. brizantha* reduziu 11,4% da dose zero para a maior dose testada (Figura 6C). A partir da dose 555 g ha⁻¹ o Fv/Fm



foi abaixo de 0,75 o que caracteriza o estresse fisiológico da planta, e na maior dose chegou a 0,69.

Figura 6 – Taxa de transporte de elétrons (A), eficiência quântica do fotossistema (B) e razão entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima (C) aos 14 DAA de *Urochloa brizantha* sob diferentes doses de *glyphosate*



** significativo a 1 % e * significativo a 5 % pelo teste t.

Fonte: os autores.

A taxa de transporte de elétrons da *U. brizantha* foi superior no pleno sol em comparação com os ambientes sombreados. No sombreamento intermitente a taxa de transporte de *U. brizantha* teve uma redução de 16,32% em relação ao pleno sol, apresentando valores intermediários entre os ambientes. Já o sombreamento contínuo teve a menor taxa de transporte de elétrons com redução de 70,9% em relação ao pleno sol e 65,24% em relação ao sombreamento intermitente (Tabela 2).

A eficiência quântica do fotossistema da *U. brizantha* seguiu o padrão da taxa de transporte de elétrons, até por ligação entre essas duas variáveis, com maior valor para o pleno sol, valor intermediário para o sombreamento intermitente e menor valor para o sombreamento contínuo. O sombreamento intermitente teve uma redução de 29,7% na eficiência do fotossistema



em relação ao pleno sol, já o sombreamento contínuo reduziu 45,3% em relação ao pleno sol e 22,1% para o sombreamento intermitente (Tabela 2).

A razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima da *U. brizantha* aos 14 DAA não apresentou alterações ($P>0,05$) entre os ambientes de cultivo.

Tabela 2 – Condições de luminosidade no ambiente de cultivo sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR), eficiência quântica do fotossistema (YFm) e razão entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima (Fv/Fm) de *U. brizantha* submetida a aplicação de glyphosate

Ambiente de cultivo	ETR	YFm	Fv/Fm
Pleno sol	101,95a	0,554a	0,752
Sombreamento intermitente	85,31b	0,389b	0,742
Sombreamento contínuo	29,65c	0,303c	0,724
CV 1 (%)	23,53	18,04	9,92
CV 2 (%)	39,76	19,60	10,13

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV 1: coeficiente de variação das parcelas (ambientes); CV 2: coeficiente de variação das subparcelas (doses).

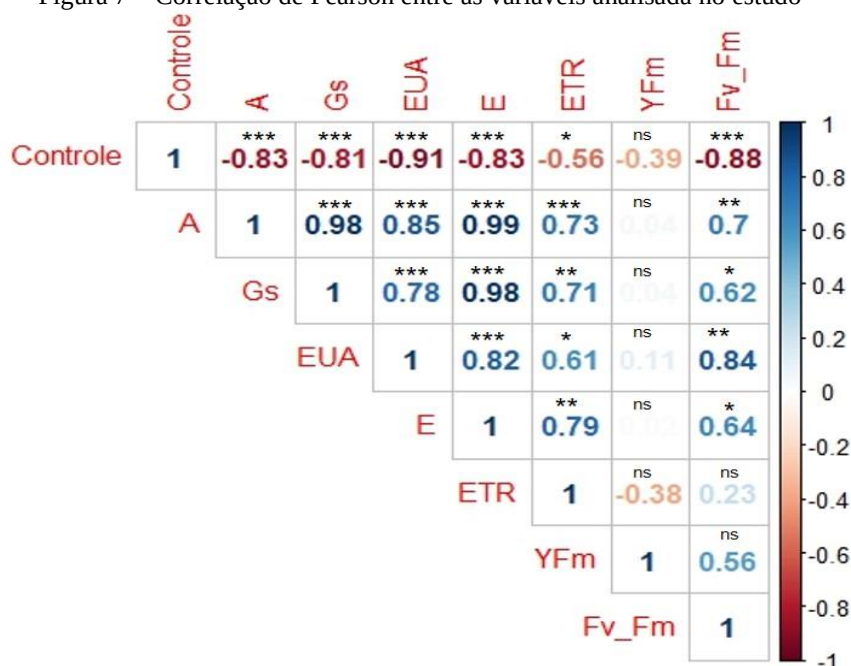
Fonte: os autores.

Urochloa brizantha aos 14 DAA apresentou controle correlacionado de forma negativa com as variáveis fisiológicas (Figura 7). A maior correlação negativa entre essas variáveis foi com a eficiência no uso da água e a taxa fotossintética, com -0,91 e -0,83 respectivamente. O controle aos 14 DAA pouco se correlacionou com a eficiência do fotossistema com valor de -0,38 (Figura 7). Com isso, ao aumentar o controle da *U. brizantha* a maioria das suas variáveis fisiológicas são prejudicadas pela ação do herbicida glyphosate.

Todas as variáveis fisiológicas da *U. brizantha* aos 14 DAA tiveram correlação positiva entre si, entretanto a eficiência do fotossistema apresentou pouca ou nenhuma correlação com as demais variáveis (Figura 7). As maiores correlações foram entre a taxa fotossintética e a taxa transpiratória com -0,98, assim como a condutância estomática com a taxa transpiratória com o mesmo valor.



Figura 7 – Correlação de Pearson entre as variáveis analisada no estudo



Onde, ***significância de 0,1%, **significância de 1%, * significância de 5% e ^{ns} não significativo para a correlação entre os parâmetros; A: Taxa fotossintética; Gs: Condutância estomática; E: Taxa transpiratória; ETR: Taxa de transporte de elétrons; YFm: Eficiência do fotossistema; Fv_Fm: Razão entre a fluorescência variável e máxima. Letras de cores vermelhas indicam correlação negativa e azuis correlação positiva, ausência de cores indicam variáveis não correlatas.

Fonte: os autores.

4 DISCUSSÃO

A porcentagem de controle da *U. brizantha* aos 14 DAA é maior no sombreamento contínuo e intermitente em relação ao pleno sol e apresentou controle próximo a 80% que é considerado eficiente (MACHADO *et al.*, 2018), mesmo aos 14 DAA (Figura 3). Essa variável tem relação indireta com a taxa fotossintética nesses ambientes e, por isso, ao aumentar o controle, a fotossíntese cai (Figura 4 A; Figura 7). Porém, de uma maneira geral foi observado reduções da fotossíntese em todos os ambientes de cultivo assim como na eficiência no uso da água em função do aumento das doses de glyphosate (Figura 4).

O glyphosate ao atuar na rota do chiquimato inibindo a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) faz com que pelo menos 20% da assimilação do carbono na planta seja reduzido, trazendo assim prejuízos na fotoassimilação (MESCHEDE *et al.*, 2012). Com menor fotoassimilação o ciclo do processo fotossintético é todo reduzido ocasionando assim menor taxa fotossintética em plantas intoxicadas. Além disso, plantas em restrição luminosa com sua



fotossíntese já comprometida sofrem maior estresse desse parâmetro em relação a plantas cultivadas a pleno sol sob aplicação do herbicida (BRANT *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2018).

A eficiência no uso da água depende de diversos fatores ambientais, como disponibilidade de luz, água, nutrientes, mas também é condicionada às condições morfofisiológicas da planta (BEZERRA *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2017). Nesse experimento, nutrientes e água não foram fatores limitantes para a eficiência no uso da água da *U. brizantha*, entretanto, a luz sim e, com isso, as características morfofisiológicas também foram afetadas. Além disso, a menor eficiência no uso da água pode relacionar com a menor produção de fotoassimilados devido à restrição luminosa. Nos diferentes ambientes, as plantas tiveram redução nessa variável apenas no sombreamento contínuo e isso se deve a menor taxa fotossintética ocasionada pela restrição luminosa de 70% nesse ambiente. Com menor taxa fotossintética, a condutância estomática e a taxa de transpiração também decrescem nesse ambiente. Devido a esses fatores a assimilação de carbono cai o que leva a menor produção de massa seca e por consequência a eficiência no uso da água (CRUZ *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2017).

As mudanças observadas nas variáveis de taxa transpiratória e condutância estomática estão diretamente ligadas aos distúrbios fisiológicos causados pela aplicação do glyphosate (Figura 5). A redução da condutância estomática em função da restrição luminosa pode estar ligada a menor capacidade da planta em realizar fotossíntese e produzir massa seca, diminuindo a capacidade da planta em produzir raízes e absorver mais água. Com menor capacidade de suprir a necessidade de água, a planta tende a fechar os estômatos para evitar a perda desse elemento (JACINTO JUNIOR *et al.*, 2019).

Aos 14 DAA, parte dos tecidos vegetais já estão mortos ou inativos, entre eles tecido ligados a absorção de água na raiz e o transporte dessa substância no xilema (MACHADO *et al.*, 2009). Esse fator tende a potencializar o fechamento dos estômatos e com isso reduzir ainda mais a taxa de transpiração da *U. brizantha*. Como a taxa fotossintética é dependente da abertura estomática para absorção de CO₂, a queda da fotossíntese aos 14 DAA em função do aumento das doses de glyphosate pode também estar ligada a menor condutância estomática da *U. brizantha* devido ao déficit de carbono. Além disso, o estresse fisiológico ocasionado pela degradação do aparato fotossintético como redução da taxa de transporte de elétrons pode ser fator determinante para essas reduções observadas.



A redução da taxa de transporte de elétrons pode ocorrer a partir de 96 horas após a aplicação de glyphosate (ZOBIOLE *et al.*, 2011; WAGNER; JÚNIO, 2014). Essa redução está diretamente ligada com a diminuição da taxa fotossintética e por consequência da condutância estomática, taxa de transpiração e eficiência no uso da água (Figura 4 e Figura 5) que são dependentes do transporte de elétrons no fotossistema II. Assim a eficiência quântica do fotossistema II, que também está relacionada com a taxa de transporte de elétrons, teve valores que variam de $0,503 \mu\text{Mols elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na testemunha e $0,378$ e $328 \mu\text{Mols elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na dose de 960 g ha^{-1} e 1440 g ha^{-1} , respectivamente.

Nesse estudo aos 14 DAA a redução da taxa de transporte de elétrons foi linear em função do aumento das doses de glyphosate, isso se relaciona com a menor produção de aminoácidos essenciais (WAGNER; MEROTTO, 2014) e pela inibição da rota do chiquimato. Com 20 % da utilização do carbono paralisada a planta pode não conseguir utilizar os elétrons oriundos da luz para a produção de ATP e NADPH que serão substrato energético para produção de fotoassimilados (PIMENTEL, 2011). A energia oriunda da luz e não utilizada pela planta se dissipa na forma de calor ou fluorescência e com isso a taxa de transporte de elétrons é reduzida (SILVEIRA *et al.*, 2017).

A razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima quando a planta está em boas condições fisiológicas varia entre 0,75 e 0,85 (FERREIRA *et al.*, 2015), com isso *U. brizantha* apresentou estresse fisiológico quando submetida ao glyphosate e aos ambientes sombreados (Figura 6 C e Tabela 2). Essa variável é um importante fator para estimar o estresse fisiológico, pois se relaciona diretamente com a dissipação de energia não utilizada pela planta por falta de capacidade fotossintética (SILVEIRA *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2015).

No presente estudo aos 14 DAA a *U. brizantha* teve sua F_v/F_m comprometida devido ao aumento das doses de glyphosate. O aumento das doses de glyphosate faz com que a planta tenha morte celular e perda de clorofila, por consequência a fotossíntese reduz (REIS *et al.*, 2020). Sendo assim, a energia recebida pela planta oriunda da luz não pode ser utilizada de maneira eficiente e com isso já na dose de 480 g ha^{-1} observamos razão F_v/F_m para *U. brizantha* a níveis abaixo do ideal.

O controle pelo glyphosate afetou negativamente as variáveis fisiológicas da *U. brizantha*, demonstrado pela alta relação indireta entre as variáveis (Figura 7), mesmo que esse herbicida não tenha ação direta na fisiologia. Entretanto, com a ação do glyphosate a assimilação



de carbono das plantas é reduzida, o que obriga a planta a dissipar energia através do calor e da fluorescência (Figura 6C). Sem destino para parte da energia captada da luz pelo complexo antena ocorre a redução da taxa de transporte de elétrons (Figura 6A) e diminui a taxa fotossintética (Figura 4A), com prejuízos significativos para as funções fisiológicas das plantas.

5 CONCLUSÃO

O glyphosate tem influência direta e negativa na fisiologia de *U. brizantha* cv. Marandu, independentemente do ambiente de cultivo. A *U. brizantha* é mais sensível ao glyphosate quando crescida em ambientes sombreados, sendo controlada pela dose de 995 g ha⁻¹ quando submetida à restrição luminosa, indicando possibilidade de redução de dose nesses ambientes. As variáveis fisiológicas de plantas de *U. brizantha* foram afetadas de forma negativa pela restrição luminosa nos ambientes de cultivo e apresentaram estresse fisiológico nesses ambientes.



REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- BEZERRA, I. L.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; BARBOSA, J. L. PHYSIOLOGICAL INDICES AND GROWTH OF 'PALUMA' GUAVA UNDER SALINE WATER IRRIGATION AND NITROGEN FERTIGATION. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 808–816, 2018.
- BRANT, M. C.; TUFFI SANTOS, L. D.; FREITAS, I. C.; FRAZÃO, L. A.; SILVA, M. S. N.; MACHADO, V. D.; SANTOS, M. V. Productivity, Control, and Decomposition of Irrigated Forage Species under Glyphosate Doses and Shading. **Planta Daninha**, v. 36, p. e018175761, 2018.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), AGROFIT 2023. Disponível em: agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- COSTA, G. A.; SANTOS, L. D. T.; FERREIR G. A. P.; CRUZ, L. R.; MACHADO, V. D.; ROCHA, L. M. Levels of shading and application of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 819–824, 2018.
- CRUZ, J. L.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; SANTOS, A. A. Salinity reduces carbon assimilation and the harvest index of cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 4, p. 545, 2017.
- DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1296–1301, 2014.
- DILL, G. M.; SAMMONS, R. D.; FENG, P. C. C.; KOHN, F.; KRETZMER, K. MEHRSHAIKH, A.; BLEEKE, M.; HONEGGER, J. L.; FARMER, D.; WRIGHT, D.; HAUPFEAR, E. A. Glyphosate: Discovery, Development, Applications, and Properties. In: NANDULA, Vijay K. (Org.). **Glyphosate Resistance in Crops and Weeds**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010, p. 1–33.
- DUARTE, C. F. D.; PROCHERA, D. L.; PAIVA, L. M. FERNANDES, H. J. BISERRA, T. T. CASSARO, L. H. FLORES, L. S FERNANDES, R. L. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1669–1676, 2019.
- DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 319–325, 2008.



FERREIRA, E. A.; MATOS, C. C.; BARBOSA, E. A.; SILVA, D. V.; SANTOS, J. B.; PEREIRA, G. A. M.; FARIA, A. T.; SILVA, C. T. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 645, 2015.

IBAMA. **Painéis de informações de agrotóxicos 2022**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/t-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/paineisde-infomacoes-deagrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos#Painel-comercializacao>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), relatório técnico do consumo de agrotóxicos de 2014. Disponível em: sidra.ibge.gov.br/tabela/774.

JACINTO JÚNIOR, S. G. MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B.; SILVA, B. N.; SOUSA, G. G.; OLIVEIRA, L. L. B.; MESQUITA, R. O. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista brasileira de meteorologia**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019.

JIANG, C. D.; WANG, X.; GAO, H. Y.; SHI, L.; CHOW, W. S. Systemic Regulation of Leaf Anatomical Structure, Photosynthetic Performance, and High-Light Tolerance in Sorghum. **Plant Physiology**, v. 155, n. 3, p. 1416–1424, 1 mar. 2011.

LIMA, S. F.; PEREIRA, L. S.; SOUSA, G. D.; OLIVEIRA, G. S.; JAKELAITIS, A. Suppression of *Urochloa brizantha* and *U. ruziziensis* by glyphosate underdoses. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 581–589, 2019.

MACHADO, L.A.Z.; COMUNELLO, É.; CECATO, U.; CONCENSO, G. Susceptibility of Perennial Tropical Forage Plants to Glyphosate Herbicide in Integrated Crop-Livestock Farming Systems. **Planta Daninha**, v. 36, n. 0, 2018.

MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, F. A.; VIAN, R. G. Absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate em clones de eucalipto: clones. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 549–554, 2009.

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; TONIN, F. G.; CARBONARO, C. A. Alterações no metabolismo da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 113–119, 2012.

PEÑA MARTÍNEZ, Y. R.; MARTÍNEZ, M. J.; GUERRERO D., J. A.; Adsorción-desorción de diurón y ametrina en suelos de Colombia y España. **Revista Colombiana de Química**, v. 47, n. 3, p. 31–40, 2018.

PIMENTEL, Carlos. Metabolismo de carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO₂ e de O₃ atmosférico: situação e previsões. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 1–12, 2011.

R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. **Vienna: R Foundation for Statistical Computing**, 2017.



REIS, M. M.; SILVA, A. J.; TUFFI SANTOS, L. D.; LOPES, E. M. G.; BARROS, R. E.; DONATO, L. M. S. Millet irrigation with treated wastewater: Gas exchange response and nutrient accumulation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. e023519, 2019.

SANTOS, M.V.; FERREIRA, F. A.; FREITAS, F. C. L.; TUFFI SANTOS, L. D.; VIANA, J. M.; ROCHA, D. C. C.; FIALHO, C. M. T. Controle de *Brachiaria brizantha*, com uso do glyphosate, na formação de pastagem de Tifton 85 (*Cynodon* spp.). **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 149–155, 2007.

SANTOS, M. V.; FERREIRA, E. A.; VALADÃO, D.; OLIVEIRA, F. L. R.; MACHADO, V. D.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. F. *Brachiaria* physiological parameters in agroforestry systems. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, 2017.

SILVA, A. A; SILVA J. F. Biologia de Plantas Daninhas. In: SILVA, Antônio Alberto. **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. 1ª ed. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

SILVA, D. V.; FREITAS, M. A. M.; SOUZA, M. F.; QUEIROZ, G. P.; MELO, C. A. D.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; REIS, M. R. Glyphosate herbicide use in *Urochloa brizantha* management in intercropping with herbicide-resistant maize. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 133–141, 2016.

SILVEIRA, H. M.; FERREIRA, E. A.; SILVA, D. V.; NETO, M. D. C.; CARVALHO, F. P.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação do mesotrione. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 403–409, 2013.

SILVEIRA, R.R.; SANTOS, M. V.; FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, L. D. Chlorophyll fluorescence in *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* submitted to herbicides. **Planta Daninha**, v. 35, n. 0, 2017.

ZOBIOLE, L. H. S. OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KREMER, R. J.; MOREIRA, A.; ROMAGNOLI, L. M. Acúmulo de nutrientes em soja convencional e soja RR em diferentes tipos de controle de planta daninha. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 75–85, 2012.

WAGNER, J. F.; MEROTTO, J. A. Parâmetros fisiológicos e nutricionais de cultivares de soja resistentes ao glifosato em comparação com cultivares isogênicas próximas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 393–399, 2014.