

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Matheus Sales Nogueira e Silva

Radiação luminosa no manejo de *Urochloa brizantha* com glyphosate

Montes Claros

2020

Matheus Sales Nogueira e Silva

Radiação luminosa no manejo de *Urochloa brizantha* com glyphosate

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Leonardo David Tuffi Santos

Montes Claros – Minas Gerais

Março de 2020

Silva, Matheus Sales Nogueira e

S586r
2020

Radiação luminosa no manejo de *Urochloa brizantha* com glyphosate/ Matheus Sales Nogueira e Silva. Montes Claros, 2020.
50 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Leonardo David Tuffi Santos

Banca examinadora: Rodinei Facco Pegoraro, Evander Alves Ferreira, Márcia Vitória Santos, Leonardo David Tuffi Santos.

Inclui referências.

1. Gramínea. 2. Defensivos agrícolas. 3. Produtividade primária. I. Tuffi Santos, Leonardo David. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 633.2



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Agrárias
Mestrado em Produção Vegetal

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 06 dias do mês de março de 2020, às 09:00 horas, sob a Presidência do Professor Leonardo David Tuffi Santos, D. Sc. (Orientador /ICA-UFMG) e com a participação dos Professores Rodinei Facco Pegoraro, D. Sc. (ICA-UFMG), Evander Alves Ferreira, D. Sc. (ICA/UFMG) e Márcia Vitória Santos, D. Sc. (UFVJM), reuniu-se a Banca de defesa de dissertação de **MATHEUS SALES NOGUEIRA E SILVA**, aluno do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de dissertação intitulada: "**Radiação luminosa no manejo de *Urochloa brizantha* com glyphosate**", sendo o aluno considerado **aprovado**. E, para constar, eu, Professor Leonardo David Tuffi Santos, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 68 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 68 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 06 de março de 2020.

Leonardo David Tuffi Santos
Orientador

Rodinei Facco Pegoraro
Membro

Evander Alves Ferreira
Membro

Márcia Vitória Santos
Membro

AGRADECIMENTOS

À Deus pela saúde que me concede, por me possibilitar trabalhar, pensar, estudar e sonhar com um futuro promissor.

Aos meus familiares e, em especial, meus pais Telma e Renato e meus avós Estelmar e Waldir por todo apoio e colaboração.

Ao professor e amigo Leonardo David Tuffi Santos pela orientação, compreensão e conselhos nos anos de graduação e, em especial, no mestrado.

Ao professor Jatnel Alonso pela coorientação importante para o desenvolvimento da dissertação, por seus conselhos e amizade.

A todos os membros e ex-membros do laboratório de Biologia e Manejo integrado de Plantas Daninhas e aos amigos de república, pois sem eles o trabalho seria muito mais demorado e difícil, por serem também pessoas amáveis e sempre dispostas a ajudar.

À Universidade Federal de Minas Gerais, onde foi desenvolvido este trabalho e onde realizei a minha formação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento de parte da pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Enfim, a todos os amigos que me ajudaram de alguma forma a alcançar esse objetivo, meu muito obrigado!

Radiação luminosa no manejo de *Urochloa brizantha* com glyphosate

RESUMO

Plantas submetidas a diferentes intensidades luminosas modificam sua morfofisiologia, o que pode influenciar diretamente na sensibilidade ao glyphosate. Objetivou-se avaliar o efeito de intensidades luminosas em ambientes de cultivo sobre a fisiologia e produção de *Urochloa brizantha* e sua relação com a sensibilidade ao herbicida glyphosate. O experimento foi conduzido em campo no delineamento em blocos casualizados, com cinco 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 (DAA) foram avaliados o controle pelo glyphosate, a taxa fotossintética, condutância estomática, taxa transpiratória e determinou-se a eficiência do uso da água (EUA). Na mesma época, foram analisadas a eficiência quântica do fotossistema II, taxa de transporte de elétrons e a razão entre a fluorescência variável e máxima (Fv/ Fm). Amostras das plantas foram retiradas para análises morfoanatômicas no momento da aplicação. Para determinação do controle final foram feitas avaliações aos 35 DAA atribuindo notas visuais na escala de 0 a 100%. O controle aos 14 DAA foi acima de 80% nos ambientes sombreados a partir da dose 995 g ha⁻¹ e no pleno sol acima da dose 1.449 g ha⁻¹. *U. brizantha* teve a menor taxa fotossintética na dose 1.160 g ha⁻¹ e houve efeito de interação entre os ambientes e as doses. As plantas tiveram Fv/Fm iguais entre os ambientes, porém nos ambientes sombreados os valores foram abaixo do ideal que é entre 0,75 e 0,85. Observaram-se, aos 35 DAA, valores de controle de *U. brizantha* acima dos 80% a partir da dose 765 g ha⁻¹ de glyphosate para os tratamentos com sombreamento. Já em condições de pleno sol foram alcançados valores de 65% de controle na maior dose, o que é considerado insatisfatório para o manejo dessa espécie. O melhor controle na sombra tem alta correlação com as adaptações morfoanatômicas e fisiológicas decorrentes do sombreamento. Com isso é possível reduzir a dose do glyphosate e manter um controle eficiente da *U. brizantha* cultivada sob restrição luminosa.

Palavras-chave: Redução de dose. Gramínea. Taxa fotossintética. Eficiência de controle. Herbicida.

Luminous radiation in the management of *Urochloa brizantha* with glyphosate

ABSTRACT

Plants submitted to different light intensities modify their morphophysiology, which can directly influence the sensitivity to glyphosate. The objective was to evaluate the effect of light intensities in cultivation environments on the physiology and production of *Urochloa brizantha* and its relationship with sensitivity to the herbicide glyphosate. The experiment was conducted in the field in a randomized block design, with five replications, in a split plot scheme. In the plots three types of environments were allocated, being full sun, intermittent shading with three hours of direct light exposure and continuous shading, and in the subplots the doses 0, 480, 960 and 1440 g. i. a. ha⁻¹ of glyphosate. At 14 days after application (DAA), glyphosate control, photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiratory rate were evaluated and the water use efficiency was determined (USA). At the same time, the quantum efficiency of photosystem II, electron transport rate and the ratio between variable and maximum fluorescence (Fv/Fm) were analyzed. Samples of the plants were taken for morpho-anatomical analysis at the time of application. To determine the final control, evaluations were made at 35 DAA, assigning visual scores on a scale from 0 to 100%. Control at 14 DAA was above 80% in shaded environments from the 995 g dose. i. at ha⁻¹ and in full sun above the dose 1,449 g. i. a. ha⁻¹. *U. brizantha* had the lowest photosynthetic rate at a dose of 1,160 g ha⁻¹ and there was an interaction effect between environments and doses. The plants had equal Fv/Fm between the environments, however in the shaded environments the values were below the ideal, which is between 0.75 and 0.85. At 35 DAA, control values of *U. brizantha* above 80% were observed from the 765 g dose. i. a. ha⁻¹ of glyphosate for treatments with shading. Already in conditions of full sun, values of 65% of control were reached in the highest dose, which is considered unsatisfactory for the management of this species. The best control in the shade has a high correlation with the morpho-anatomical and physiological damage caused by shading. This makes it possible to reduce the dose of glyphosate and maintain an efficient control of *U. brizantha* grown under light restriction.

Keywords: Dose reduction. Grass. Photosynthetic rate. Control efficiency. Herbicide.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

4	CAPÍTULO 1 – RESTRIÇÃO LUMINOSA E O MANEJO QUÍMICO COM GLYPHOSATE SOB A RESPOSTA FISIOLÓGICA DE <i>UROCHLOA BRIZANTHA</i> (CAPIM – BRAQUIARÃO)	20
	Gráfico 1 – Radiação fotossinteticamente ativa nos diferentes ambientes.....	22
	Gráfico 1 – Precipitação (Prec), horas de radiação por dia (Rad), temperatura mínima (Temp min) e temperatura máxima (Temp max) no período de condução do experimento	23
	Figura 1 – Porcentagem de Controle de <i>Urochloa brizantha</i> sob diferentes níveis de sombreamento e doses de <i>glyphosate</i> , aos 14 dias pós-aplicação do herbicida.....	24
	Figura 2 – Doses de <i>glyphosate</i> sobre a Taxa fotossintética (A) e eficiência no uso da água (B) de <i>Urochloa brizantha</i> aos 14 dias após a aplicação	25
	Figura 3 – <i>Glyphosate</i> sobre a taxa de transpiração (A) e condutância estomática (B) de <i>Urochloa brizantha</i> cultivada sob diferentes condições de luminosidades	27
	Figura 4 – 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 <i>Urochloa brizantha</i> sob diferentes doses de <i>glyphosate</i>	28
	Figura 5 – Correlação de Pearson entre as variáveis analisada no estudo.....	29
5	CAPÍTULO 2 – RESTRIÇÃO LUMINOSA E CONTROLE QUÍMICO COM GLYPHOSATE NO MANEJO INTEGRADO DE <i>UROCHLOA BRIZANTHA</i>	35
	Gráfico 1 – Precipitação (Prec), horas de radiação por dia (Rad), temperatura mínima (Temp min) e temperatura máxima (Temp max) no período de condução do experimento	37
	Gráfico 2 – Radiação fotossinteticamente ativa nos diferentes ambientes.....	39
	Figura 1 – Porcentagem de Controle (A) e biomassa seca remanescente (g m ⁻²) (B) de <i>Urochloa brizantha</i> sob diferentes condições de luminosidade e doses de <i>glyphosate</i> , aos 35 dias pós-aplicação do herbicida.....	42
	Figura 2 – Correlação de Pearson entre cada variável analisada no estudo	44

LISTA DE TABELAS

4 CAPÍTULO 1 – RESTRIÇÃO LUMINOSA E O MANEJO QUÍMICO COM GLYPHOSATE SOB A RESPOSTA FISIOLÓGICA DE *UROCHLOA BRIZANTHA* (CAPIM – BRAQUIARÃO).....20

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 glyphosate26

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 glyphosate29

5 CAPÍTULO 2 – RESTRIÇÃO LUMINOSA E CONTROLE QUÍMICO COM GLYPHOSATE NO MANEJO INTEGRADO DE *UROCHLOA BRIZANTHA*35

Tabela 1 – Biomassa seca remanescente da parte aérea de *Urochloa brizantha* aos 35 DAA na testemunha sob diferentes condições de luminosidade42

Tabela 2 – Teor de amido, açúcar solúvel e açúcar total da *Urochloa brizantha* sob diferentes condições de luminosidade43

Tabela 3 – Área da folha e quantidade de cera epicuticular da *Urochloa brizantha* sob diferentes condições de luminosidade43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo Geral.....	11
2.2	Objetivos Específicos	11
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1	Manejo químico de plantas daninhas e o uso do glyphosate	12
3.2	Influência da morfofisiologia e anatomia das plantas na ação de herbicidas	13
3.3	Espécie <i>Urochloa brizantha</i> (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (syn. <i>Brachiaria brizantha</i>)	14
4	Capítulo 1 – Restrição luminosa e o manejo químico com glyphosate sob a resposta fisiológica de <i>Urochloa brizantha</i> (Capim – braquiarião).....	20
5	Capítulo 2 – Restrição luminosa e controle químico com glyphosate no manejo integrado de <i>Urochloa brizantha</i>	35

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o glyphosate é o produto fitossanitário mais utilizados no mundo, representando mais de 50% das aplicações em volume de produtos utilizados (CIB, 2018). Esse fato é sustentado pela importância das plantas daninhas nos cultivos, pois em todas as áreas cultivadas, com raras exceções, em algum momento essas plantas podem causar alguma interferência negativa na lavoura. No Brasil, os herbicidas representam 62,6% das vendas de produtos químicos e o glyphosate, entre os herbicidas, é o mais vendido com 62,5% do mercado. Estima-se que em 2014 foram vendidas 193 mil toneladas de glyphosate, o que o torna o produto químico mais vendido do Brasil. Além disso, é esperado que em 2020 sejam comercializados mundialmente 8,5 bilhões de dólares com esse herbicida (IBGE, 2014; MAPA, 2020; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018).

O uso do glyphosate é motivado pelo seu amplo espectro, sendo capaz de controlar com eficiência diversas espécies de plantas daninhas, entre elas a *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (syn. *Brachiaria brizantha*). Entretanto, seu uso indiscriminado vem sendo questionado devido às evidências de contaminação ambiental e indícios de intoxicação humana e em animais. Adicionalmente, o uso descontrolado pode onerar os custos de produção de uma lavoura e selecionar biótipos tolerantes e resistentes ao princípio ativo, o que reduz a eficiência de controle do glyphosate.

A recomendação de uso do glyphosate é baseada na espécie daninha presente, não considerando o ambiente de cultivo, restrição luminosa e morfofisiologia da planta alvo (AGROFIT, 2020). Os testes de eficiência do produto que determinaram as doses recomendadas foram realizados em ambientes de pleno sol. Assim em ambientes com sombreamento, comuns na agricultura e em áreas florestais, a resposta das plantas daninhas ao glyphosate pode ser diferente.

Saber precisar a dose de herbicida para efetuar um controle eficiente proporciona redução nos danos ambientais e melhora a rentabilidade dos cultivos. O controle eficiente de plantas daninhas é possível a partir de uso mais preciso da dose do herbicida recomendado, o que proporciona redução aos danos ambientais e melhoria da rentabilidade dos cultivos na agricultura. Nesse sentido são necessários estudos que tragam informações sobre a ação do glyphosate, principal herbicida utilizado no mundo, em diferentes ambientes, sobretudo naqueles com variação luminosa.

Plantas submetidas à sombra tem sua morfofisiologia e anatomia modificadas para adaptação a restrição luminosa do ambiente. Dentre as modificações destacam-se o aumento da área foliar, diminuição do número de perfilhos, aumento do comprimento de perfilhos, diminuição da cutícula, menor número de tricomas, maior área foliar e maior abertura estomática (DIAS-FILHO, 1997; TUFFI SANTOS *et al.*, 2015). Entretanto, ainda são incipientes os estudos nessa área e consequentemente as recomendações para plantas a pleno sol continuam sendo usadas em ambientes sombreados.

A importância de estudar a dinâmica de ação do glyphosate em plantas submetidas ao sombreamento, sobretudo com *U. brizantha* que é destaque na utilização em sistemas integrados e como importante planta daninha, baseia-se na necessidade de melhorar a eficiência e diminuir os riscos de impacto negativo quando do uso desse herbicida.

A adequação no manejo químico em ambientes sombreados poderá diminuir os problemas sociais, econômicos e ambientais relacionados ao uso do glyphosate, e tornar a aplicação desse herbicida mais eficiente, menos onerosa e com menor impacto socioambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito de diferentes condições de luminosidade sobre a eficiência no controle de *Urochloa brizantha* pelo herbicida glyphosate.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir a melhor dose de controle de *U. brizantha* em ambientes sombreados, com glyphosate;
- Avaliar as características morfológicas e químicas de *U. brizantha* cultivadas em função da condição de luminosidade no ambiente de cultivo e sob doses de glyphosate;
- Avaliar a fisiologia de *U. brizantha* sob condições de luminosidades no ambiente de cultivo e sob doses de glyphosate.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Manejo químico de plantas daninhas e o uso do glyphosate

O manejo químico é feito pelo uso de herbicidas que visa reduzir a interferência de plantas daninhas, inibir crescimento de plantas, dessecar para pré-colheita ou formar palhada em uma determinada área. Tornou-se usual após a segunda guerra mundial com a utilização da auxina sintética e o principal motivo relaciona-se a eficiência de controle e o baixo custo.

A ocorrência de plantas daninhas é comum em qualquer cultivo e isso faz com que o manejo químico seja utilizado na maior parte das lavouras convencionais do mundo. Existem no mundo em torno de 355 ingredientes ativos e 26 rotas metabólicas de herbicidas que atuam de diferentes formas nas plantas (HEAP, 2020). Entretanto, é comum os produtores não realizarem a rotação de princípios ativos o que pode selecionar biótipos tolerantes, resistentes e reduzir a eficiência dos produtos (HEAP, 2020).

O manejo químico ineficiente é representado por duas situações de campo: 1- baixa porcentagem de controle das plantas daninhas, ou 2- casos em que a dose aplicada é alta demais causando prejuízos financeiros e ambientais. Dentre os princípios ativos de herbicidas existentes, o glyphosate se destaca devido seu baixo custo e eficiência de controle em relação aos demais produtos. Esse herbicida atua na inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs) (HEAP, 2020), reduzindo a formação dos aminoácidos essenciais fenilalanina, tirosina e triptofano (VIDAL *et al.*, 2014). Além disso, é um produto sistêmico capaz de controlar plantas monocotiledôneas e eudicotiledôneas, absorvido pelas folhas e translocado via floema atingindo rapidamente rizomas, caules, raízes e órgãos reprodutores tendendo a se acumular nos meristemas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011; CARVALHO; ALVES; COSTA, 2015).

Atualmente o glyphosate é o produto fitossanitário mais utilizado no mundo e ganhou destaque após o crescimento da utilização das culturas transgênicas resistentes a essa molécula (CIB, 2018), o que facilitou o manejo com esse herbicida. No Brasil cerca de 180 mil toneladas de glyphosate são comercializadas por ano o que representa 62,2% da venda de produtos fitossanitários (IBGE, 2014). O uso global do glyphosate atingiu a marca de 826 milhões de kg em 2014 (BENBROOK, 2016).

Nos últimos anos, inúmeras pesquisas e órgãos governamentais e da sociedade organizada tem questionado o uso do glyphosate no mundo (CONITEC, 2018). Dentre os questionamentos destacam-se o uso indiscriminado e ineficiente do glyphosate que afeta cursos d'água, contamina animais, seres humanos e causa reações alérgicas (PERES, 2003; CONITEC, 2018).

O uso repetitivo da molécula faz com que a seleção de espécies daninhas resistentes e tolerantes aumente a cada ano. Estima-se que existem em torno de 48 biótipos de plantas resistentes e diversas plantas tolerantes ao glyphosate. Já em relação a todos os herbicidas são em torno de 262 espécies (HEAP, 2020).

Alternativas para o uso seguro do glyphosate, dada sua importância para agricultura, são necessárias. Dentre elas, o uso de doses adequadas para cada situação de cultivo.

A restrição de luz nos ambientes de cultivo pode influenciar diretamente na morfofisiologia das plantas, conseqüentemente no crescimento e desenvolvimento dessas (LIMA JR *et al.*, 2006). Atualmente, a recomendação de dose para o controle de plantas daninhas não leva em consideração as características do ambiente. Sabe-se que nos atuais sistemas de produção agropecuários a competição por luminosidade é comum (SOLTO *et al.*, 2009) e isso é ainda mais pronunciado em sistemas integrados com árvores, florestas cultivadas e lavouras perenes.

Para um manejo químico eficiente deve ser levada em consideração a idade da maior parte das espécies daninhas presentes na área, além dos fatores morfológicos. A quantidade de folhas, tamanho da planta, largura das folhas e densidade de plantas, são influenciados pela luz e interferem na interceptação do produto aplicado e conseqüentemente na eficiência de controle (MEROTTO JR, 2008; OLIVEIRA JR; INOUE, 2011). A falta de recomendação de doses para aplicação em plantas que tiveram alterações causadas pelo sombreamento pode ser um agravante para a ineficiência do manejo químico, sobretudo quanto ao uso de doses inadequadas, e conseqüentemente gerar danos socioambientais e econômicos.

3.2 Influência da morfofisiologia e anatomia das plantas na ação de herbicidas

As características quantitativas e qualitativas da radiação solar que as plantas são capazes de captar são determinantes para o seu desenvolvimento e estabelecimento em um ecossistema (SOARES *et al.*, 2009).

Em ambientes sombreados, as plantas alteram suas características morfofisiológicas e a alocação de fotoassimilados para aumentar a eficiência de captação da luz, a exemplo do tamanho da parte aérea, quantidade de folhas, largura das folhas, diminuição da taxa fotossintética e maior abertura de estômatos (TUFFI SANTOS *et al.*, 2015; DIAS-FILHO, 1997; SANTOS *et al.*, 2015).

Além disso, mudanças anatômicas também são encontradas em plantas sombreadas (BRAGA *et al.*, 2009) como, menor espessura do parênquima paliçádico, maior área foliar, maior espaço intercelular no mesofilo, menor quantidade de tricomas e menor deposição de cera (SANTOS *et al.*, 2015; QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2011). Essas mudanças são uma adaptação para que as plantas tenham condições de perpetuar nesse ambiente adverso.

Estudos indicam que o sombreamento altera as características dos componentes estruturais de cultivares da espécie *U. brizantha*, bem como a produtividade e o estabelecimento das plantas (SOARES *et al.*, 2009; SOUTO *et al.*, 2009; MARTINS *et al.*, 2014). As plantas tendem a se adaptar ao sombreamento com as alterações fenotípicas, entretanto experimento realizado com *Commelina benghalensis* e *Cyperus rotundus* foi possível constatar que essas alterações tornaram essas plantas mais susceptíveis ao glyphosate (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2013).

O aumento da sensibilidade de plantas daninhas aos herbicidas em ambientes sombreados está relacionando com a interceptação e penetração que é facilitada devido a maior área foliar, maior quantidade de estômatos e a menor espessura da cera e número de tricomas (REINA PINTO; YEPHREMOV, 2009; SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2013). Além disso, a competitividade em ambientes com

restrição luminosa pode ser reduzida devido ao estresse sofrido e com isso as plantas podem se tornar menos tolerantes à ação dos herbicidas (AUMONDE *et al.*, 2013; GOBBI *et al.*, 2009; BOSI *et al.*, 2014).

Em sistemas integrados agropecuários como a integração-lavoura-pecuária e a integração-lavoura-pecuária-floresta uma das principais competições é por luminosidade (SOARES *et al.*, 2009), principalmente quando se trata de plantas daninhas que normalmente tem menor porte quando comparadas a cultura de grãos ou a floresta. Esses sistemas têm ganhado destaque no cenário nacional e mundial devido a proposta de sustentabilidade ambiental e capacidade de maior retorno por área (KICHEL *et al.*, 2014). Entretanto, o manejo químico de plantas daninhas ainda é ineficiente, por usar doses não ajustadas à situação de sombreamento devido à falta de recomendações para esses ambientes.

Contudo, há relatos na literatura que é possível reduzir doses de glyphosate e controlar de forma eficiente plantas daninhas sob restrição luminosa (COSTA *et al.*, 2018). Com a realização de experimentos que analisam a ação de herbicidas em plantas com alterações causadas pelo sombreamento, o manejo químico poderá ser mais eficiente como um todo na agropecuária. É fato que plantas daninhas e plantas de cobertura consorciadas em algum momento do seu ciclo sofrem restrição luminosa. Com o aumento do plantio direto na palha, consórcio e sistemas integrados o uso do glyphosate em plantas com restrição luminosa é ainda maior, sobretudo sobre aquelas que são comumente encontradas nesses sistemas, sejam como cultura de interesse ou planta daninha.

3.3 Espécie *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (syn. *Brachiaria brizantha*)

Urochloa brizantha está inserida dentro do gênero *Urochloa* onde existem cerca de 100 espécies consideradas forrageiras. Esse gênero é o mais utilizado do Brasil na formação de pastagens sendo a espécie desse estudo a mais recorrente do gênero (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002; DUARTE *et al.*, 2019).

A espécie possui crescimento cespitoso, colmos eretos e sistema radicular profundo e volumoso o que confere boa cobertura do solo além de tolerância ao déficit hídrico, o que explica, em parte, sua ampla distribuição ao longo do território brasileiro (FURLAN, 2015). Com isso, a produção de massa verde e massa seca dessa espécie é satisfatória, até mesmo em condições adversas, proporcionando maior segurança ao produtor rural ao optar por sua implantação (DUARTE *et al.*, 2019).

Devido a sua adaptabilidade ao clima brasileiro e ampla utilização, por muitas vezes, essa espécie é encontrada causando danos a lavouras como planta daninha, fato que pode ser agravado pelo seu difícil controle (LIMA *et al.*, 2019). Em trabalho avaliando a competitividade de milho com plantas daninhas a espécie *U. brizantha* em elevada densidade proporcionou a maior redução de massa seca da cultura entre as plantas daninhas avaliadas (*Bidens pilosa*, *Commelina benghalensis*, *Sorghum arundinaceum* e *Ipomoea triloba*) (FARIA *et al.*, 2014).

Além da utilização em monocultivos a *U. brizantha* é utilizada em sistemas integrados como na Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e na Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e destinada à produção de palhada para o plantio direto e para isso é necessária sua dessecação com herbicida, na

maioria das vezes o glyphosate. Quando cultivada em sombreamento de até 50% a massa seca dessa espécie atinge níveis parecidos com o monocultivo, além disso, em níveis maiores de sombreamento, a adaptação da *U. brizantha* é satisfatória (MARTINS *et al.*, 2014).

Em sistemas de plantio direto e ILP espécies do gênero *Urochloa* tem apresentado os melhores resultados (COSTA *et al.*, 2015), devido à resistência a baixa fertilidade, elevada relação C:N, controle físico de plantas daninhas, fácil estabelecimento e maior aporte de massa seca por área (MOREIRA *et al.*, 2003; PACHECO *et al.*, 2011; TIMOSSI *et al.*, 2007). Por ter uma elevada relação C: N a *U. brizantha* pode favorecer a deposição de palha por mais tempo no solo proporcionando menor erodibilidade, maior retenção de umidade e melhor estrutura física.

Além de características citadas a *U. brizantha* pode aumentar o teor de palhada em relação ao milho em monocultivo favorecendo uma maior cobertura do solo e a longo prazo mais matéria orgânica (BORGHI *et al.*, 2008). Entretanto, esses sistemas exigem a dessecação da forrageira para que se torne palhada, e o herbicida mais utilizado para essa finalidade é o glyphosate (MAY *et al.*, 2016; BRANT *et al.*, 2018). Devido à escassez de trabalhos que indicam a dose adequada do glyphosate para o controle eficiente da *U. brizantha* quando ela se encontra sob restrição luminosa, pode ser comum aplicações com quantidade equivocada de herbicida. Esse equívoco pode ocasionar danos ambientais, sociais e econômicos.

Pode-se confirmar que a *U. brizantha* é uma importante espécie cultivada como pastagem (consorciado ou monocultivo) nos trópicos e eventualmente existe a necessidade de ser dessecada. Pode ser dessecada por estar causando danos à cultura principal ou por ser fonte de palhada para a cobertura do solo e o principal herbicida utilizado para esse manejo é o glyphosate. Contudo, essa espécie é tolerante a esse herbicida e necessita de doses em torno de 2.000 g. i. a. ha⁻¹ para um controle eficiente (SILVA *et al.*, 2013). Além disso, sabe-se que a restrição luminosa causada pelo consórcio com outras plantas ou pela cultura principal interfere na anatomia, morfologia e fisiologia das plantas e na ação do herbicida (MARTINS *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2015; SOLTO *et al.*, 2009). Devido à escassez de trabalhos sobre o uso de herbicidas em plantas sombreadas, não se sabe qual a dose exata de glyphosate para um controle eficiente da *U. brizantha* sob restrição luminosa.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, M. J.; BOTREL, M. de A.; XAVIER, D. F. As principais espécies de *Brachiaria* utilizadas no País. **Embrapa Gado de Leite**, 2002.
- AMARANTE JUNIOR, Ozelito Possidônio de; SANTOS, Teresa Cristina Rodrigues dos; BRITO, Natilene Mesquita; RIBEIRO, Maria Lúcia. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Quím. Nova** [online], v. 25, n.4, p.589-593, 2002. ISSN 0100-4042. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>.
- AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; Moraes, D. M.; Villela, F. A.; Lopes, N. F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 99–108, jan./mar. 2013. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000100011>.
- BALBINO, Luiz Carlos; BARCELLOS, Alexandre de Oliveira; STONE, Luís Fernando (ed.). **Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta**. Reference document crop-livestock-forestry integration. Luiz Carlos Balbino, Alexandre de Oliveira Barcellos, Luís Fernando Stone. Brasília, DF: Embrapa, 2011.
- BARBOSA, Rodrigo Amorim; NASCIMENTO JÚNIOR, Domicio do; EUCLIDES, Valéria Pacheco Batista; REGAZZI, Adair José; FONSECA, Dilermando Miranda da. Características Morfogênicas e Acúmulo de Forragem do Capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em Dois Resíduos Forrageiros Pós-Pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 583–593, 2002.
- BORGES, W. L. B. *et al.* Integra SP - Integração lavoura-pecuária-floresta no Noroeste paulista. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 2, p. 192–199, 2014.
- BORGHI, E. *et al.* Influência da distribuição espacial do milho e da *Brachiaria brizantha* consorciados sobre a população de plantas daninhas em sistema plantio direto na palha. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 559–568, 2008.
- BOSI, C. *et al.* Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 6, p. 449–456, jun. 2014.
- BRAGA, F. T. *et al.* Qualidade de luz no cultivo in vitro de *Dendranthema grandiflorum* cv. Rage: características morfofisiológicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 502–508, abr. 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). **AGROFIT 2020**. Disponível em: agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos; Comissão nacional de incorporação de tecnologias no sus (CONITEC). **Diretrizes Brasileiras para Diagnóstico e Tratamento de Intoxicações por Agrotóxicos**. [Relatório de recomendação]. 2018. cap. 3.
- CARVALHO, L. B. de; ALVES, Pedro Luis da Costa Aguiar; COSTA, Flávia Regina da. Differential response of clones of eucalypt to glyphosate. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 177-187, 2015.
- CARVALHO, L. B. de; CRUZ-HIPOLITO, Hugo; GONZALEZ-TORRALVA, Fidel; ALVES, da Costa Aguiar Pedro Luis; CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob; Prado, Rafael de. Detection of Sourgrass (*Digitaria insularis*) Biotypes Resistant to Glyphosate in Brazil. **Weed Science**, v. 59, n. 02, p. 171–176, jun. 2011.
- CASTRO, Edicarlos Batista de; CARBONARI, Caio Antonio; VELINI, Edivaldo Domingues; BELAPART, Diego; GOMES, Giovanna Larissa Gimenes Cotrick; BEN, Ronei. Absorção, translocação e efeitos metabólicos do glyphosate em plantas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, 3 out. 2016.

CIB. Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **Arquivos ISAAA**. [s.l.]: [s.d.]. Disponível em: <https://cib.org.br/tag/isaaa/>. Acesso em: 15 ago. 2018.

CORREIA, N.; LEITE, G.; GARCIA, L. Resposta de diferentes populações de *Digitaria insularis* ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 769–776, dez. 2010.

COSTA, Gustavo A.; *et al.* 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.

DIAS-FILHO, M. B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.8, p.789-796, 1997.

DUARTE, C. F. D.; *et al.* Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1669–1676, 2019.

FARIA, R. M.; *et al.* Weed interference on growth and yield of transgenic maize. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 515–520, set. 2014.

FURLAN, F. Tolerância diferencial ao alumínio em plantas do gênero *Urochloa*: morfologia de raízes, sistema antioxidativo e alumínio trocável no apoplasto radicular. Dissertação de mestrado em Biologia na Agricultura e no Ambiente, USP – PIRACICABA -SP, 2015.

GAUTIER, H. Tillering Responses to the Light Environment and to Defoliation in Populations of Perennial Ryegrass (*Lolium perenne* L.) Selected for Contrasting Leaf Length. **Annals of Botany**, v. 83, n. 4, p. 423–429, abr. 1999.

GOBBI, K. F. *et al.* Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1645–1654, set. 2009.

GONTIJO NETO, M. M. *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 2, p. 183–191, 2014.

HEAP, I. The International Herbicide-Resistant Weed Database. Online. Friday, February 28, 2020.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011.

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

KICHEL, A. N. *et al.* Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) - Experiencia no Brasil. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 1, p. 94–105, 2014.

LIMA JR., E. C. *et al.* Aspectos fisiológicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 33–41, fev. 2006.

LIMA, S. F.; *et al.* Suppression of *Urochloa brizantha* and *U. ruziziensis* by glyphosate underdoses. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 581–589, 2019.

MARTINS, A. D. *et al.* Relação do nível de sombreamento artificial e da adubação sobre o desenvolvimento da forrageira *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 4, p. 994–1005, dez. 2014.

MAY, A.; *et al.* Aplicação de glyphosate na dessecação do sorgo biomassa. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 4, p. 362, 2016.

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A. Baixas doses de glyphosate e seus efeitos no crescimento de. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 7, n. 2, p. 53, 10 ago. 2008.

MEROTTO JR. A. Absorção e translocação de herbicidas nas plantas. In: VARGAS, L; ROMAN, E. S. **Manual de Manejo e Controle de Plantas Daninhas**. Passo Fundo, RS: Embrapa, 2008. 89 p.

MOREIRA, J. A. A. Feijão o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2003.

OLIVEIRA, F. L.; SOUTO, S. M. Efeito do sombreamento no crescimento inicial de gramíneas forrageiras tropicais. **Pesquisa agropecuária gaúcha**, v. 7, n. 2, p.221-226, 2001.

OLIVEIRA JR, R. S. Seletividade de Herbicidas para Culturas e Plantas Daninhas. In: OLIVEIRA JR, R. S. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax Editora Ltda, 2011. 261 p.

PACHECO, L. P. *et al.* Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 17–25, jan. 2011.

PERES, F.; MOREIRA, J. C. É veneno ou é remédio? agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro, RJ: Editora Fiocruz, 2003.

POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, n. 1, p. 317–347, 2 jun. 2010.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B. *et al.* Variações na anatomia foliar de videira Niagara em diferentes sistemas de condução. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 488-493, 2011.

REINA-PINTO, J. J.; YEPHREMOV, A. Surface lipids and plant defenses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, n. 6, p. 540–549, jun. 2009.

RODRIGUES, B. N; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina, 697 p. 2011.

ROMAN, E. S. Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação. Passo Fundo: Berthier, 2007.

SALGADO, T. *et al.* Sintomas da intoxicação inicial de Eucalyptus proporcionados por subdoses de glyphosate aplicadas no caule ou nas folhas. **Planta Daninha**, v. 29, n. 4, p. 913–922, dez. 2011.

SANTOS, H. P. *et al.* Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, 28 ago. 2009.

SANTOS, M. V. *et al.* 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, mar. 2007.

SILVA, U R. *et al.* Eficácia do glyphosate na dessecação de espécies de Urochloa. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 202, 2013.

SOARES, A. B. *et al.* Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443–451, mar. 2009.

SOUTO, S. M. *et al.* Comportamento de plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés submetidas ao sombreamento. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.2, p.279-286, 2009.

SOUSA, L. F. *et al.* Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 4, p. 1029–1037, ago. 2007.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 617–622, 2007.

TEDESCO, M.J.; *et al.*, Análise de solo, plantas e outros materiais. 2^o edição. Porto Alegre: Departamento de solos. UFRGS. 173p. 1995. (Boletim técnico,5).

THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry** v: 25, p. 1351 – 1361, 1993.

TUFFI SANTOS, L. D. *et al.* Phenotypic plasticity of *Neonotonia wightii* and *Pueraria phaseoloides* grown under different light intensities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 1, p. 519–528, 24 fev. 2015.

VARGAS, L. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Bento Gonçalves, RS: **Embrapa Uva e Vinho**, 2004.

VIDAL, R. A. *et al.* Fatores ambientais que afetam a eficácia de glifosato: síntese do conhecimento. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 24, 2014.

4 CAPÍTULO 1 – RESTRIÇÃO LUMINOSA E O MANEJO QUÍMICO COM GLYPHOSATE SOB A RESPOSTA FISIOLÓGICA DE *UROCHLOA BRIZANTHA* (CAPIM – BRAQUIARÃO)

Resumo: É incipiente os trabalhos sobre a ação do glyphosate na fisiologia e no controle de *Urochloa brizantha* cultivada sob restrição luminosa. 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, taxa transpiratória com Analisador de Gases no Infravermelho e determinou-se a eficiência do uso da água (EUA). Na mesma época, com uso do fluorômetro, foram analisadas a eficiência quântica do fotossistema II, taxa de transporte de elétrons e a razão entre a fluorescência variável e máxima (Fv/Fm). O controle foi acima de 80% nos ambientes sombreados a partir da dose 995 g ha⁻¹ e no pleno sol a partir da dose 1.819 g ha⁻¹. A *U. brizantha* teve a menor taxa fotossintética na dose 1.160 g ha⁻¹ e houve efeito de interação entre os ambientes e as doses. As doses de glyphosate causaram redução na EUA de forma linear e não houve interação entre as doses e os ambientes. 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, porém sob sombreamento os valores foram abaixo do ideal que é entre 0,75 e 0,85. Concluiu-se que o glyphosate altera negativamente a fisiologia da *U. brizantha* independente da restrição luminosa. A aplicação do herbicida glyphosate é mais eficiente em planta sob restrição luminosa.

Palavras-chave: Sombreamento. Fisiologia vegetal. Fluorescência da clorofila. Manejo cultural.

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, 2020; 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 representando em torno de 68% das comercializações de herbicidas (IBGE, 2014; DILL *et al.*, 2010). 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 conseqüentemente 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.

Material e métodos

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

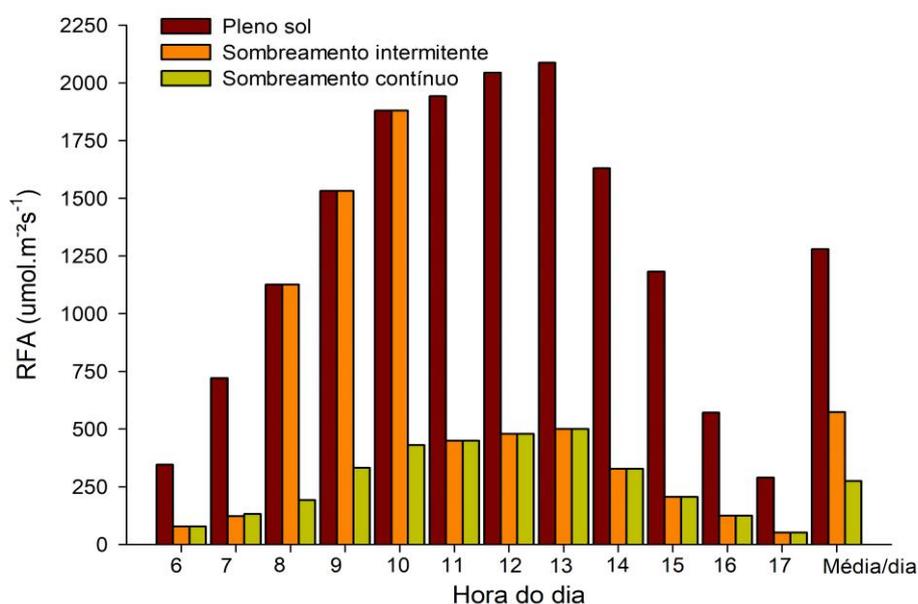
horas diárias de sol e sombreamento contínuo, e nas subparcelas as doses de 0 (testemunha), 480, 960 e 1440 g e. a. ha⁻¹ de glyphosate. As parcelas experimentais possuíam dimensões de 4x4 metros (16m²) e foram demarcadas em área aberta, sem interferência de árvores e arbustos, com solo previamente preparado 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 irrigação por microaspersão com intuito de manter o solo na capacidade de campo. A semeadura foi feita com 8 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis em área experimental 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 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.

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 (GRÁFICO 1).

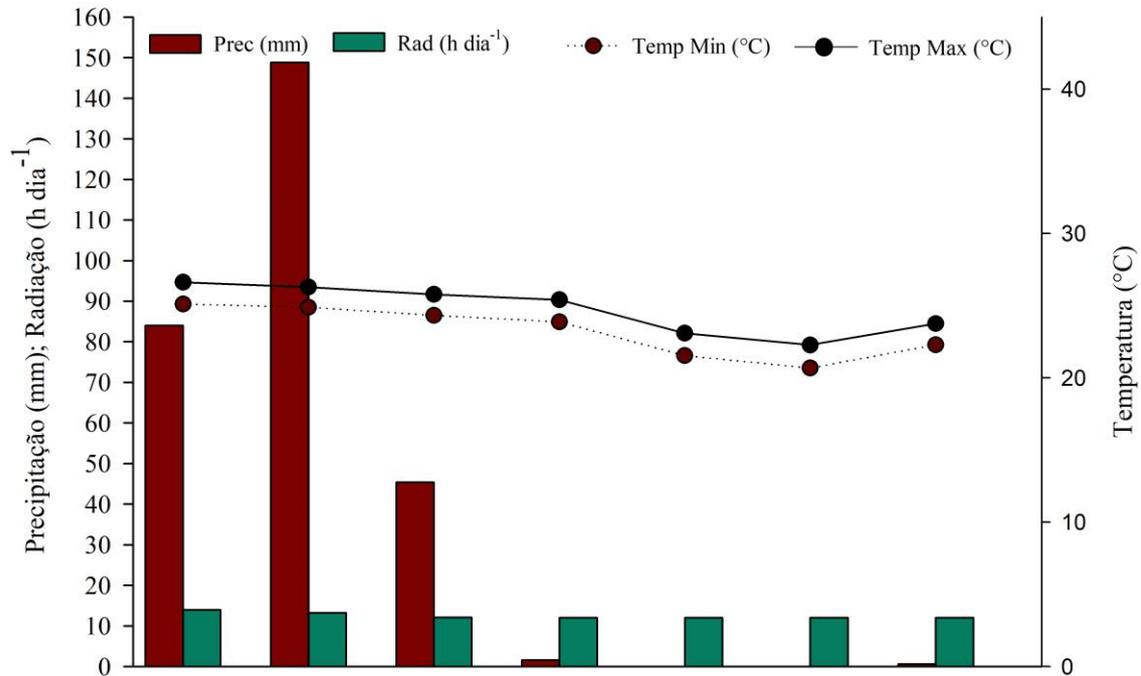
Gráfico 1 – Radiação fotossinteticamente ativa nos diferentes ambientes



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

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 no Gráfico 1.

Gráfico 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. Gráfico elaborado pelo autor.

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 LI-6400xtr, LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) 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 (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$),

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 feitas pelo 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 (Fv/Fm). O Fv/Fm 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.

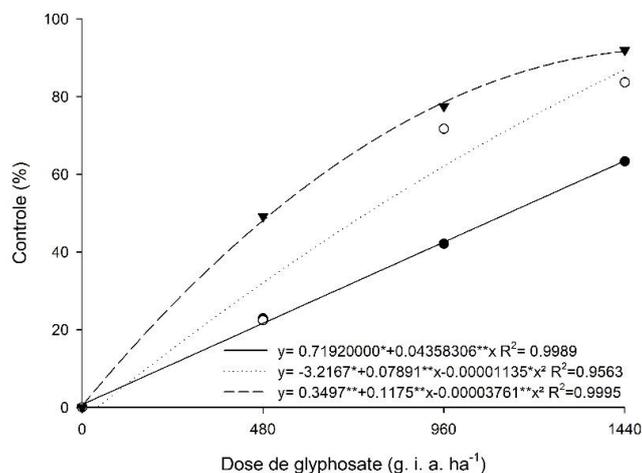
Também aso 14 DAA foram realizadas avaliação visual atribuindo notas de 0 a 100%, onde 0 representa planta não intoxicada e 100% planta morta.

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).

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 (Figura 1). 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. Nesse estudo foi possível controlar a *U. brizantha* no sombreamento com até 31% a menos dose de glyphosate em relação a maior dose testada.

Figura 1 – Porcentagem de Controle de *Urochloa brizantha* sob diferentes níveis de sombreamento e doses de glyphosate, aos 14 dias pós-aplicação do herbicida



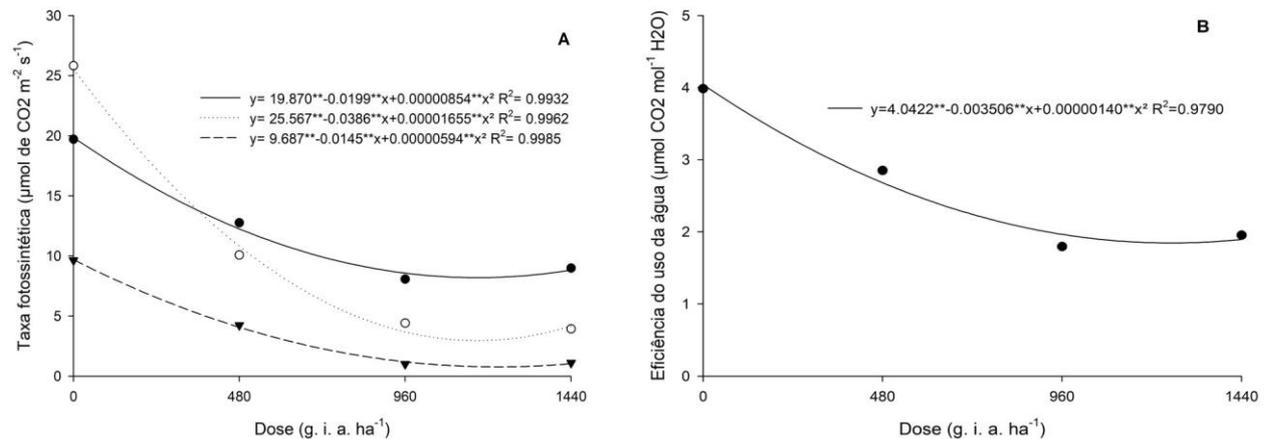
Onde, (●; —) pleno sol, (○;) sombreamento intermitente e (▼; ----) sombreamento contínuo. ** significativo a 1 % e * significativo a 5 % pelo teste t.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A taxa fotossintética da *U. brizantha* reduziu em função do aumento das doses de glyphosate em todos os ambientes testados (FIGURA 2A). 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 2A), 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 2B). 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 1B).

Figura 2 – 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: Elaborado pelo autor, 2020.

U. 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

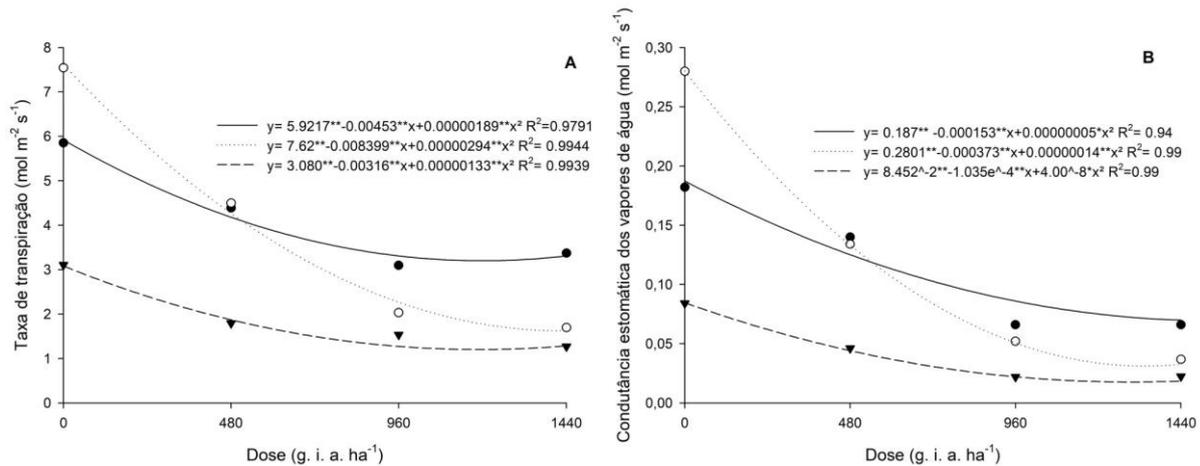
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV 1: coeficiente de variação das parcelas (ambientes); CV 2: coeficiente de variação das subparcelas (doses).

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 3).

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



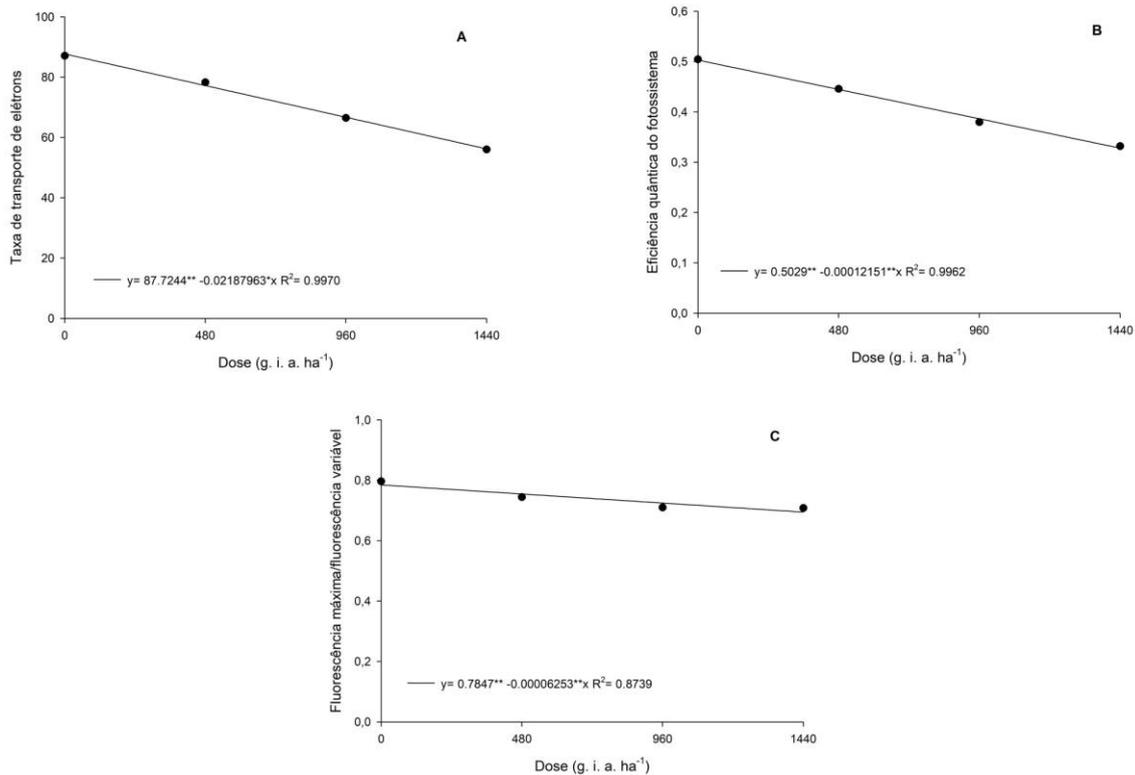
Onde, (●; —) pleno sol, (○;) sombreamento intermitente e (▼; ----) sombreamento contínuo. ** significativo a 1 % e * significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

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 4). A taxa de transporte de elétrons teve uma redução de 36% da dose zero para a maior dose testada (FIGURA 4A), enquanto a eficiência quântica do fotossistema caiu 34,7% (FIGURA 4B).

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 4C). 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 4 – 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: Elaborado pelo autor, 2020.

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. Entretanto a *U. brizantha* apresentou valores de 0,742 e 0,724 para o sombreamento intermitente e contínuo, respectivamente (TABELA 2).

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: Do autor, 2020.

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 1). Essa variável tem relação indireta com a taxa fotossintética nesses ambientes e, por isso, ao aumentar o controle, a fotossíntese cai (Figura 2 A; Figura 5). 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 2). 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 3). A condutância estomática e a taxa de transpiração são variáveis dependentes e por isso seguem o mesmo padrão. 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). Com menor abertura estomática as plantas apresentam redução na taxa de transpiração e isso pode ser agravado com a aplicação do glyphosate. 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 2 e FIGURA 3) 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 NAPDH que serão substrato energético para produção de fotoassimilados (PIMENTEL, 2011). Sem o que fazer com a energia oriunda da luz a planta dissipa essa energia em forma de calor ou fluorescência e com isso a taxa de transporte de elétrons é reduzida (SILVEIRA *et al.*, 2017). A eficiência quântica do fotossistema II reduz em função da desregulação fisiológica, uma vez que a taxa de transporte de elétrons reduz, assim como a taxa fotossintética e os demais parâmetros fisiológicos, o fotossistema não consegue trabalhar de maneira eficiente.

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 4 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). Nesse estudo aos 14 DAA a *U. brizantha* teve sua Fv/Fm 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 Fv/Fm para *U. brizantha* a níveis abaixo do ideal.

Nesse estudo, foi possível observar que o controle pelo glyphosate afetou negativamente as variáveis fisiológicas da *U. brizantha*, demonstrado pela alta relação indireta entre as variáveis (FIGURA 5), 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 4C). Sem destino para parte da energia captada da luz pelo complexo antena ocorre a redução da taxa de transporte de elétrons (FIGURA 4A) e diminui a taxa fotossintética (FIGURA 2A), com prejuízos significativos para as funções fisiológicas das plantas.

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.; *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BEZERRA, I. L.; *et al.* 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.; *et al.* 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 2020. Disponível em: agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.

COSTA, G. A.; *et al.* 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.; *et al.* 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, Priscila M.; MONTEIRO, Regina 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.; *et al.* 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.; *et al.* Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1669–1676, 2019.

DUKE, Stephen O; POWLES, Stephen B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 319–325, 2008.

FERREIRA, E. A.; *et al.* Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 645, 2015.

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

JACINTO JUNIOR, *et al.* 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, Setembro. 2019.

JIANG, C. D.; *et al.* 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.; *et al.* Suppression of *Urochloa brizantha* and *U. ruziziensis* by glyphosate underdoses. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 581–589, 2019.

MACHADO, L.A.Z.; *et al.* 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.; *et al.* 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.; *et al.* 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.; *et al.* Millet irrigation with treated wastewater: Gas exchange response and nutrient accumulation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. e023519, 2019.

SANTOS, M.V.; *et al.* 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, Márcia Vitória; *et al.* *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.; *et al.* 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.; *et al.* Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação do mesotrione. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 403–409, 2013.

SILVEIRA, R.R.; *et al.* Chlorophyll fluorescence in *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* submitted to herbicides. **Planta Daninha**, v. 35, n. 0, 2017.

ZOBIOLE, L.H.S.; *et al.* 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.

5 CAPÍTULO 2 – RESTRIÇÃO LUMINOSA E CONTROLE QUÍMICO COM GLYPHOSATE NO MANEJO INTEGRADO DE *UROCHLOA BRIZANTHA*

Resumo: Plantas submetidas a diferentes intensidades luminosas modificam sua morfofisiologia, o que pode influenciar diretamente na sensibilidade ao glyphosate. Objetivou-se avaliar o efeito do ambiente com distintas intensidades luminosas sobre o controle de *Urochloa brizantha* pelo glyphosate. Foi utilizado o esquema de parcelas subdivididas em blocos casualizados com cinco repetições. Nas parcelas foram alocados ambientes com condições de luminosidade: pleno sol, sombreamento intermitente com 3 horas de sol/dia e sombreamento contínuo. Já nas subparcelas as doses do herbicida: 0, 480, 960 e 1440 g. e. a ha⁻¹ de glyphosate aplicadas sobre as plantas de *U. brizantha*. Amostras das plantas foram retiradas da área central das subparcelas para análises de área foliar, teor de amido, açúcar solúvel e açúcar total e teor de cera epicuticular. Para determinação do controle foram feitas avaliações aos 35 dias após a aplicação (DAA) atribuindo notas visuais na escala de 0 a 100%, onde as plantas sem sinais de intoxicação tiveram nota 0% e plantas mortas 100%. Aos 35 DAA, a biomassa remanescente foi cortada ao nível do solo em 1 m² da área central das subparcelas e aferida sua massa seca. O controle de *U. brizantha* pelo herbicida glyphosate foi mais eficiente nos ambientes sombreados, seja com sombreamento contínuo ou intermitente, em relação ao pleno sol, indicando que as condições de luminosidade influenciaram na ação do herbicida. Observaram-se, aos 35 DAA, valores de controle de *U. brizantha* acima dos 80% a partir da dose 765 g. i. a. ha⁻¹ de glyphosate para os tratamentos com sombreamento. Já em condições de pleno sol foram alcançados valores de 65% de controle na maior dose, o que é considerado insatisfatório para o manejo dessa espécie. A *U. brizantha* submetida a restrição luminosa teve o teor de cera epicuticular, amido, açúcar solúvel e açúcar total reduzido, entretanto a área das folhas foi maior nesses ambientes em comparação ao pleno sol. As variáveis teor de reservas, cera epicuticular e área das folhas são afetadas pelo sombreamento e isso influencia diretamente no maior controle de *U. brizantha* pelo glyphosate.

Palavras-chave: Sombreamento. Morfoanatomia. Redução de dose. Herbicida.

Introdução

A *Urochloa brizantha* é uma espécie amplamente difundida nos trópicos e seu uso está associado ao seu potencial em diferentes sistemas de produção agropecuários. Estima-se que somente no Brasil mais de 60 milhões de hectares são plantados com essa espécie devido à alta adaptação às condições climáticas e por possuir alta produtividade de biomassa e de sementes (DUARTE *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2007). Além disso, com o crescimento na última década do plantio direto na palha e dos sistemas integrados de produção seu uso se tornou ainda mais difundido (BRANT *et al.*, 2018). *U. brizantha* também compõe sistemas integrados de produção como cultura intercalar em consórcio com café, fruteiras e espécies madeireiras (PEDROSA *et al.*, 2014; FIDALSKI *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2017), sendo necessário seu controle para produção de palhada seja para o plantio direto ou como cobertura do solo.

Entretanto, em muitas áreas a *U. brizantha* é encontrada como planta daninha de difícil controle ocasionando danos econômicos e ambientais (SANTOS *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2019). Adicionalmente, ocorre como invasora de áreas de conservação em todo o mundo, tornando-se um problema para o crescimento de espécies nativas de interesse (FREITAS *et al.*, 2019).

Os produtos à base de glyphosate figuram entre os principais herbicidas recomendados para o controle de *U. brizantha* no Brasil (MAPA, 2020). O glyphosate é o herbicida mais utilizado no mundo, principalmente pelo seu baixo custo (DUKE; POWLES, 2008) e devido ao amplo espectro de ação, atuando contra mais de 160 plantas daninhas (DILL *et al.*, 2010).

A ampla utilização do glyphosate envolve seu uso na agricultura (TOMLIN, 2000), como regulador do crescimento de plantas e dessecante (FAO / WHO, 2016) e em aplicações não agrícolas (DILL *et al.*, 2010). Com o advento das culturas geneticamente modificadas o uso do glyphosate na agricultura foi ampliado (MYERS *et al.*, 2016). O uso global de produtos à base de glyphosate em áreas agrícolas e não agrícolas passou de 67 milhões de kg em 1995 para 826 milhões de kg em 2014 (BENBROOK, 2016), com previsão de contínuo aumento de cerca de um milhão de toneladas ao ano em todo o mundo (LANDRIGAN; BELPOGGI, 2018).

O uso intensivo do glyphosate e seus impactos negativos sobre a contaminação de seres humanos (AGOSTINI *et al.*, 2020), água (LA CECILIA *et al.*, 2018; APARICIO *et al.*, 2013), solo (TRAVAGLIA *et al.*, 2015; CASSIGNEUL *et al.*, 2016) e alimentos (GELINAS *et al.*, 2018; ZOLLER *et al.*, 2018) são questionados pela sociedade. Na literatura também é preocupante os casos de resistência de plantas daninhas ao glyphosate (BECKIE, 2011; GREEN, 2012; SHANER *et al.*, 2012). Todos esses problemas se relacionam em parte a quantidade do produto utilizado nas aplicações. Uma alternativa para diminuir os impactos negativos do uso dessa molécula seria a redução de doses utilizadas, ou a adequação do uso do produto conforme a necessidade e o ambiente.

Em condições de sombreamento do ambiente são encontradas alterações nas plantas, tais como no ângulo de inclinação das folhas (MENG *et al.*, 2014), no índice de área foliar (LI *et al.*, 2010), na deposição de cutina e cera em folhas (SKOSS, 1995), na taxa fotossintética (JIANG *et al.*, 2011) e na partição de massa seca (ARTRU *et al.*, 2018) o que pode alterar sua sensibilidade aos herbicidas. No

caso do glyphosate a ação do produto pode ser influenciada pelas barreiras contra a penetração e absorção desse produto na folha (MACHADO *et al.*, 2009) e disponibilidade energética para o metabolismo da molécula herbicida (FERNANDO *et al.*, 2016).

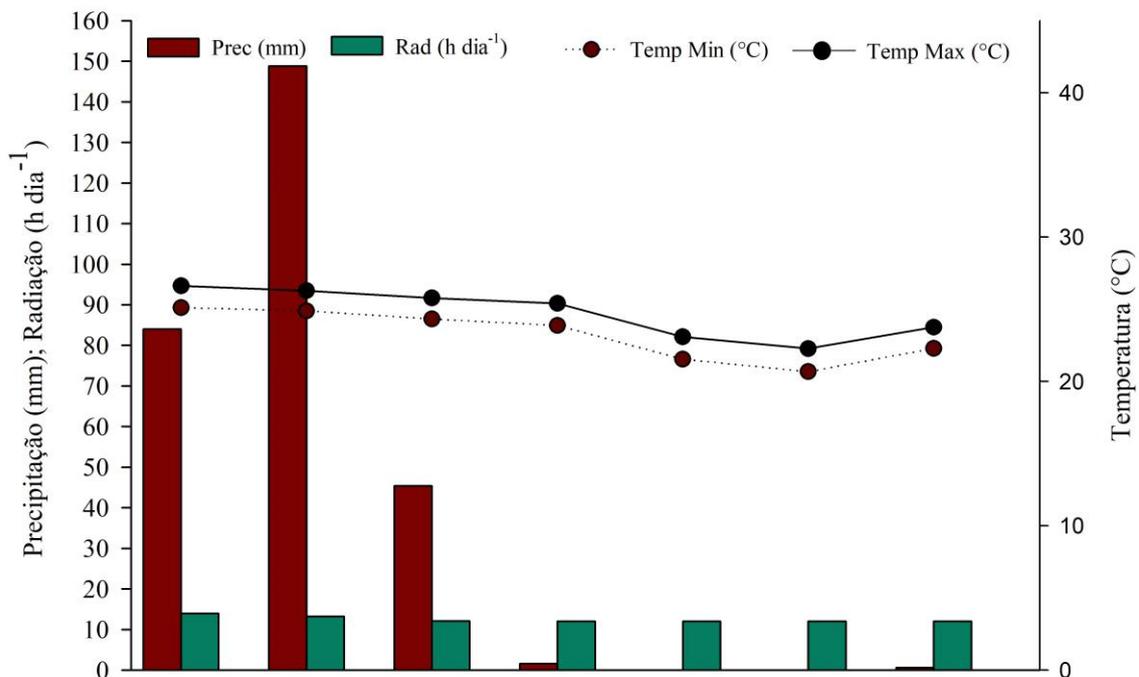
Ainda é pouco elucidado na literatura o que há de alteração na dinâmica de ação dos herbicidas aplicados em plantas com algum tipo de restrição luminosa. Além disso, a recomendação de doses de herbicida sempre leva em consideração plantas a pleno sol. Entretanto, em muitas lavouras ou condições de crescimento, as plantas daninhas têm restrições de luz e isso é negligenciado pela literatura.

Diante disso, objetivou-se com essa pesquisa avaliar o efeito de distintas condições de luminosidades no ambiente de cultivo sobre o controle de *U. brizantha* pelo glyphosate.

Material e métodos

O experimento foi realizado em condições de campo no 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 na cidade de Montes Claros - MG do período experimental estão expressas no Gráfico 1.

Gráfico 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. Gráfico elaborado 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.

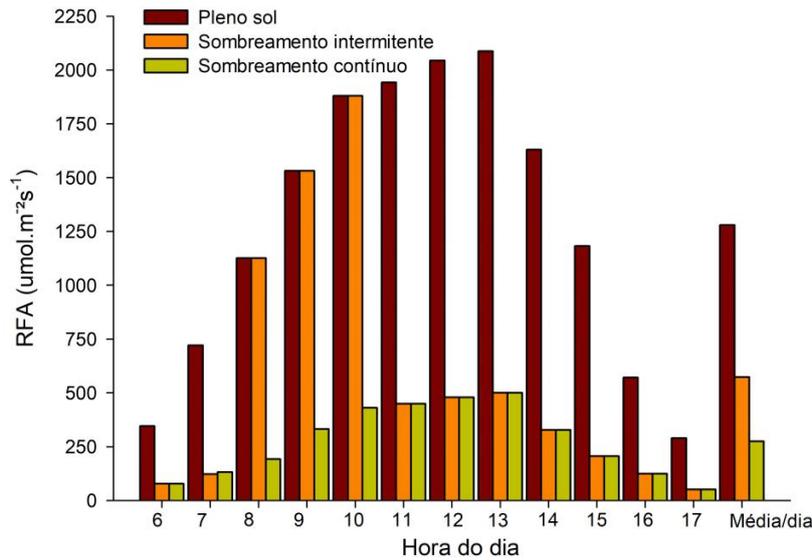
O ensaio foi esquematizado em parcelas subdivididas com cinco repetições no delineamento em blocos casualizados, totalizando 60 unidades experimentais. Nas parcelas alocaram-se três diferentes ambientes em função da luminosidade, sendo pleno sol, sombreamento intermitente com 3 horas diárias de sol e sombreamento contínuo, e nas subparcelas as doses de 0 (testemunha), 480, 960 e 1440 g e. a ha^{-1} de glyphosate.

As parcelas experimentais possuíam dimensões de 4x4 metros (16m^2) 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* cv. Marandu no espaçamento 0,5 metros entre linhas. As subparcelas possuíam área de 2x2 metros (4 m^2) com 4 linhas de cultivo para avaliação. A adubação foi com 300 Kg ha^{-1} do adubo formulado 4–30–10 (N-P-K) com base na análise de solo e a irrigação por microaspersão com intuito de manter o solo na capacidade de campo.

Nas parcelas com sombreamento contínuo e descontínuo foi construída uma estrutura para sustentar o uso de telas de polietileno preto (sombrite), restringindo 70% da radiação solar, sendo que todos os lados permaneciam completamente fechados. As estruturas permitiam a movimentação do sombrite, que ao ser fechado permanecia completamente fixado para os tratamentos com sombreamento descontínuo, com intuito de fornecer radiação direta de 3 horas entre às 08:00 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 (GRÁFICO 2). Essa determinação foi realizada com o intuito de caracterizar os ambientes e demonstrar a diferença de radiação em cada tratamento.

Gráfico 2 – Radiação fotossinteticamente ativa nos diferentes ambientes



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Após o plantio da *U. brizantha*, realizado em fevereiro de 2019, realizou-se quatro cortes de uniformização nos meses de março, abril, maio e junho, com intuito de estimular o perfilhamento e a uniformização das parcelas. Após cada corte foi aplicado o equivalente por parcela a 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, com ureia agrícola (45% de N). Após o terceiro corte de uniformização as plantas foram climatizadas nos respectivos ambientes durante dois meses até a aplicação do herbicida.

O herbicida foi aplicado por meio de pulverizador costal pressurizado a CO₂ (Herbicat, Catanduva – SP, Brasil), 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 que separaram cada uma das subparcelas para evitar a deriva e a contaminação das subparcelas paralelas. No momento da aplicação as plantas estavam completamente estabelecidas com altura média de 40 cm.

Para determinação do nível de controle foi realizada análise visual aos 35 DAA atribuindo notas de 0 a 100%, onde 0 corresponde a planta não intoxicada e 100% a planta morta conforme metodologia descrita por Alam (1974). A avaliação de controle foi realizada por três pessoas devidamente treinadas e com experiência nesse tipo de avaliação, sendo os valores expressos pela média aritmética das observações. Nesse mesmo período a biomassa sobrevivente da parte aérea das plantas foi coletada rente ao solo. Para essa amostragem utilizou-se um quadro de metal vazado na dimensão de 1m². Posteriormente seu peso da massa verde foi aferido em balança de precisão (Shimadzu Corp., Quioto, Japão). Para determinação da massa seca da parte aérea cerca de 100 gramas do material coletado foram levadas a estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas e o peso seco foi aferido em balança de precisão, sendo extrapolando para o valor total da amostra.

No momento antes da aplicação foi coletado nas subparcelas amostras foliares para estimar a área foliar, os teores de açúcar solúvel, amido e cera epicuticular. Após secagem a 65°C por 72 horas as amostras foram moídas em moinho tipo *Willey* (Marconi Equipamentos para laboratórios, Piracicaba, Brasil) com peneira de 2 mm para realização das análises químicas. O teor de açúcar solúvel foi determinado conforme metodologia de McCready *et al.* (1950), e a quantificação do teor de amido pela reação com solução de antrona (HODGE; HOFREITER, 1962; PLUMMER, 1978).

A cera epicuticular foi quantificada expondo as lâminas foliares de *U. brizantha* em um tubo de ensaio de peso conhecido com cerca de 30 ml de diclorometano por 90 segundos, agitando levemente para não extravasar o conteúdo celular. Após a retirada da cera das folhas a solução de diclorometano mais cera foi levada a banho maria, depois da evaporação do líquido a quantidade de cera foi mensurada em balança de precisão. A área das folhas foi estimada com o auxílio do software Image Pro-Plus® utilizando a digitalização de duas folhas por m² representativas da subparcela coletadas no terço médio das plantas.

Os dados foram considerados normais pelo teste de Shapiro – Wilk ao realizar a análise de variância. Para a intoxicação e a massa seca da biomassa aérea remanescente foi realizado o ajuste das equações de regressão, considerando os ambientes e as doses de herbicida. Para o teor de açúcar solúvel, amido, cera epicuticular e área foliar foi feito o teste de tukey a 5% de probabilidade considerando os diferentes ambientes de cultivo. As variáveis foram correlacionadas através da análise de correlação de Pearson múltipla. As análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico R Studio versão 3.3.1 (R CORE TEAM, 2017).

Resultados

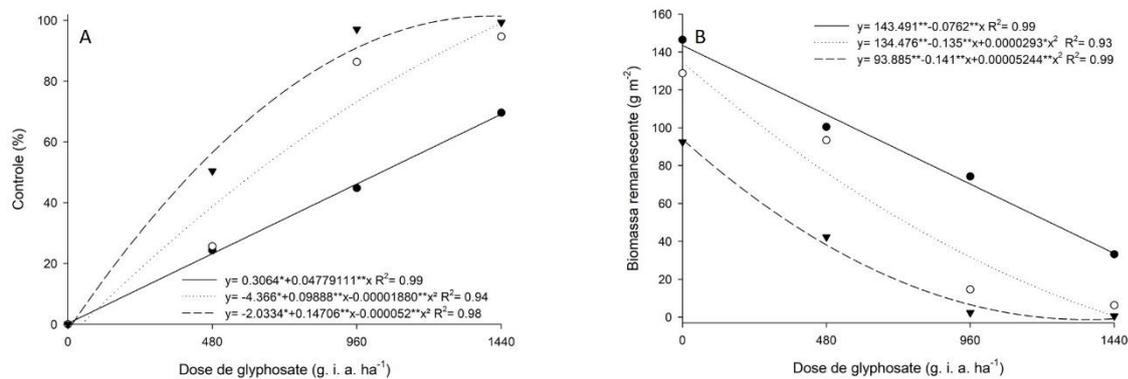
O herbicida glyphosate foi mais eficiente no controle de *U. brizantha* nos ambientes sombreados, seja com sombreamento contínuo ou intermitente, em relação ao pleno sol, indicando que as condições de luminosidade influenciaram na ação do herbicida. As condições de luminosidade do ambiente e as doses de glyphosate apresentaram interação para variável controle de *U. brizantha* ($P \leq 0,05$). Observaram-se, aos 35 dias após aplicação do herbicida (DAA), valores de controle de *U. brizantha* acima dos 80% na dose 765 g ha⁻¹ de glyphosate no sombreamento contínuo e na dose 1.075 g ha⁻¹ no sombreamento intermitente. Já em condições de pleno sol foram alcançados valores de 65% de controle na maior dose testada (FIGURA 1A). Para obter um controle de 80% na *U. brizantha* em condição de pleno sol é necessário aplicar dose de 1.663 g ha⁻¹.

Nos ambientes sombreados e a pleno sol ajustaram-se equações quadrática e linear, respectivamente, para o controle de *U. brizantha* em função das doses de glyphosate. As doses testadas atingiram a intoxicação máxima nos ambientes com restrição luminosa, o que não foi observado quando do cultivo a pleno sol (FIGURA 1A).

A restrição luminosa e o aumento das doses de glyphosate reduziram a massa seca remanescente da parte aérea de *U. brizantha* aos 35 DAA, sendo observado interação entre as condições de luminosidade e as doses de glyphosate ($P \leq 0,05$) para essa variável (FIGURA 1B). Sobre o sombreamento a *U. brizantha* teve maior redução da massa seca remanescente após a aplicação do glyphosate, assim como maior porcentagem de controle (FIGURA 1).

No sombreamento contínuo e intermitente a biomassa remanescente reduziu 99,4% e 95%, respectivamente, da testemunha para a maior dose testada, enquanto no pleno sol a redução foi de 77,3%. O pleno sol na dose de 1.440 g ha⁻¹ apresentou 33,17 gramas por metro quadrado de massa seca, já na dose 1.663 g ha⁻¹ onde estima-se que teria 80% de controle a biomassa remanescente foi de 16 g m⁻². No sombreamento intermitente foi observado 23 g m⁻² de biomassa remanescente na dose 1.075 g ha⁻¹. Enquanto, a *U. brizantha* cultivada no sombreamento contínuo teve biomassa remanescente de 16 g m⁻² na dose 765 g ha⁻¹. A biomassa remanescente da *U. brizantha* seguiu o mesmo padrão da porcentagem de controle, com reduções dessa variável nos ambientes sombreados a partir da dose 765 g ha⁻¹. Entretanto, mesmo que no pleno sol a porcentagem de controle não foi satisfatória (FIGURA 1A) na maior dose testada, a biomassa remanescente apresentou nesse tratamento redução de 77% em relação à dose zero.

Figura 1 – Porcentagem de Controle (A) e biomassa seca remanescente (g m^{-2}) (B) de *Urochloa brizantha* sob diferentes condições de luminosidade e doses de *glyphosate*, aos 35 dias pós-aplicação do herbicida



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

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

O sombreamento de *U. brizantha* influenciou sua massa seca da parte aérea. Entretanto quando exposta a 3 horas de luz direta por dia sua produtividade foi semelhante ($P > 0,05$) ao pleno sol. O sombreamento contínuo reduziu em 36,8% a massa seca da parte aérea em comparação ao pleno sol. Logo o sombreamento de 70% apresenta resultado interessante para auxiliar no controle de *U. brizantha* pelo *glyphosate* (Tabela 1). Além disso, pode-se observar que a pleno sol houve produção satisfatória de massa seca, indicando o bom desenvolvimento das plantas.

Tabela 1 – Biomassa seca remanescente da parte aérea de *Urochloa brizantha* aos 35 DAA na testemunha sob diferentes condições de luminosidade

Ambiente de cultivo	Biomassa seca da parte aérea (g m^{-2})
Pleno sol	146,45 a
Sombreamento intermitente	128,77 a
Sombreamento contínuo	92,48 b
CV 1 (%):	27,5
CV 2 (%):	21,4

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

As condições de luminosidade do ambiente de cultivo influenciaram ($P \leq 0,05$) os teores de amido, açúcares solúveis e açúcares totais foliares da parte aérea de *U. brizantha*. As plantas de *U. brizantha* acumula menor quantidade de reservas em ambientes com restrição luminosa em comparação com plantas mantidas a pleno sol (TABELA 2).

O teor de amido foi superior no tratamento a pleno sol, enquanto não variou ($P > 0,05$) entre o sombreamento intermitente e contínuo. Os açúcares solúveis foram superiores no pleno sol e no

sombreamento intermitente, com três horas de luz direta, comparativamente ao sombreamento contínuo. O teor de açúcar total foi diferente nos três ambientes, superior no pleno sol, intermediário no sombreamento intermitente e menor no sombreamento contínuo (TABELA 2).

Tabela 2 – Teor de amido, açúcar solúvel e açúcar total da *Urochloa brizantha* sob diferentes condições de luminosidade

Ambiente de cultivo	Amido (%)	Açúcares solúveis (%)	Açúcares totais (%)
Pleno sol	8,98a	10,05a	19,03a
Sombreamento intermitente	4,23b	8,59a	12,83b
Sombreamento contínuo	4,37b	6,43b	10,81c
Cv (%)	16,79	13,77	4,78

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As plantas de *U. brizantha* mantidas em restrição luminosa apresentaram maior área das folhas, em comparação aquelas crescidas em condições de pleno sol. Quando sombreadas a área foliar de *U. brizantha* chega a ser 42% maior que de plantas sem restrição luminosa (TABELA 3).

Tabela 3 – Área da folha e quantidade de cera epicuticular da *Urochloa brizantha* sob diferentes condições de luminosidade

Ambiente de cultivo	Área da folha (cm ²)	Teor de cera epicuticular (mg cm ⁻²)
Pleno sol	30,42b	0,48a
Sombreamento intermitente	51,67a	0,039b
Sombreamento contínuo	52,53a	0,036b
Cv (%)	11,05	15,59

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

U. brizantha mantida a pleno sol apresentou maior teor de cera epicuticular, reduzindo de forma drástica nos tratamentos sob sombreamento contínuo e intermitente (TABELA 3). O sombreamento chegou a reduzir em até 92,5% a quantidade de cera epicuticular da *U. brizantha*, em comparação a plantas não sombreadas.

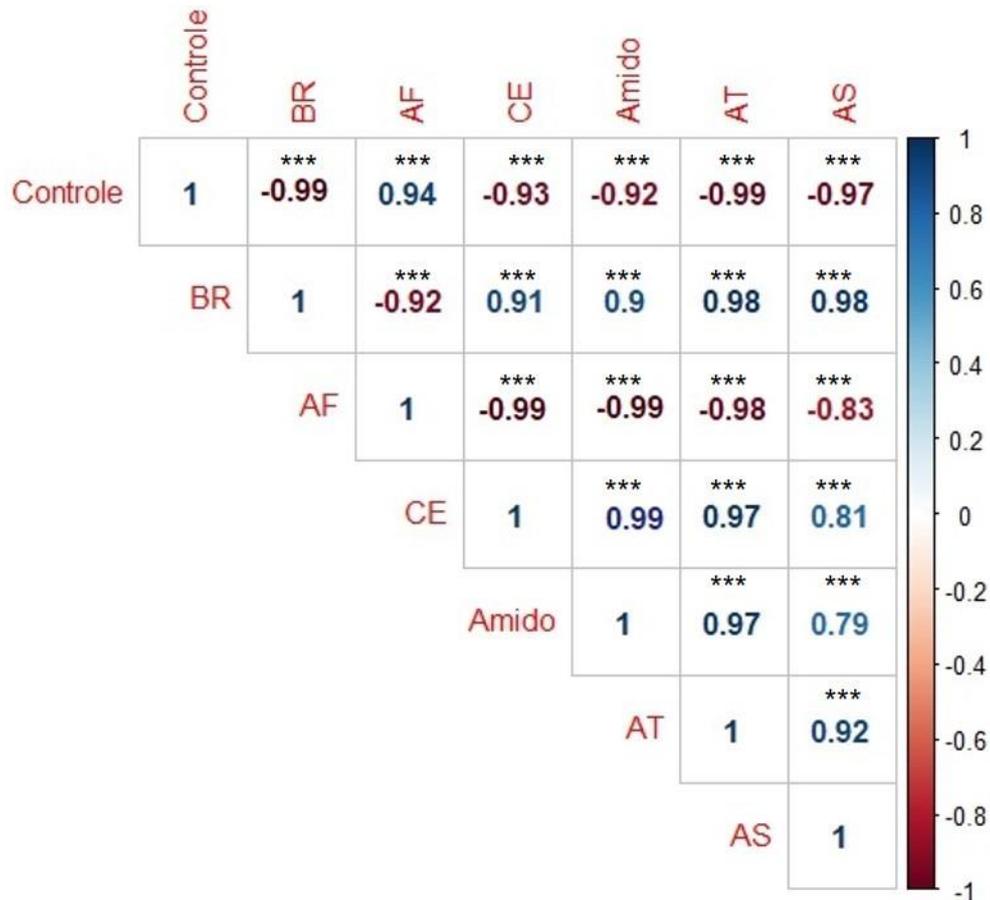
O controle da *U. brizantha* aos 35 DAA teve correlação negativa acima de -0,9 com as variáveis de biomassa remanescente, teor de amido, açúcar solúvel, açúcar total e cera epicuticular (FIGURA 2.). Sendo assim, com menor teor de reservas e cera epicuticular o controle da *U. brizantha* pelo glyphosate é maior, o que foi observado nos tratamentos com restrição luminosa. Seguindo o mesmo padrão a biomassa remanescente após a aplicação do herbicida reduz conforme se aumenta o controle das plantas pelo glyphosate.

A área da folha da *U. brizantha* teve correlação de 0,94 com o controle aos 35 DAA (FIGURA 2). Com isso, ao aumentar a área da folha a *U. brizantha* se torna mais sensível ao glyphosate, esse fato foi observado nas plantas submetidas a restrições luminosas nesse experimento.

As variáveis de teor de reserva e biomassa remanescente foram correlatas entre si de forma positiva com valores acima de 0,8 (FIGURA 2). Isso indica que quanto maior a reserva maior o teor de

cera epicuticular, menor o controle e consequentemente maior a biomassa remanescente. A área da folha teve correlação negativa acima de -0,8 com todas as variáveis de teor de reserva e biomassa remanescente (FIGURA 2).

Figura 2 – Correlação de Pearson entre cada variável analisada no estudo



Onde, ***significância de 0,1% e ^{ns} não significativo para a correlação entre os parâmetros; BR: biomassa remanescente após aplicação do glyphosate; AF: área da folha; CE: cera epicuticular; AT: Açúcar total; AS: Açúcar solúvel. Letras vermelhas indicam correlação negativa e as azuis correlação positiva, ausência de cores indicam variáveis não correlatas.

Fonte: Do autor, 2020.

Discussão

O controle de 65% observado nas plantas a pleno sol, com aplicação da dose recomendada pelo fabricante, é considerado insatisfatório para o manejo da espécie (SILVA *et al.*, 2013). A restrição da luminosidade no ambiente de cultivo da *Urochloa brizantha*, seja com sombreamento contínuo ou intermitente com 3 horas de luz direta, aumenta a eficiência de controle da espécie pelo glyphosate (FIGURA 1). As alterações no acúmulo de carboidratos (TABELA 2) e nas características morfoanômicas (TABELA 3) de *Urochloa brizantha* estão diretamente relacionadas à menor sensibilidade da espécie ao glyphosate em ambientes com restrição luminosa (FIGURA 2).

A maior sensibilidade de *U. brizantha* e *Megathyrsus maximus* (syn. *Panicum*) ao glyphosate em ambiente com 50% de restrição luminosa, em comparação a plantas mantidas a pleno sol, foi relatada por Brant *et al.* (2018). A maior sensibilidade ao glyphosate por plantas daninhas crescidas em ambientes sombreados, em comparação a plantas mantidas a pleno sol, também foi observada para *Commelina benghalensis* (SANTOS *et al.*, 2015), *Macroptilium atropurpureum* (COSTA *et al.*, 2018) e para a *Cyperus rotundus* (SANTOS *et al.*, 2015), corroborando com o encontrado no presente estudo.

O presente trabalho inova em relação ao estudo de Brant *et al.* (2018) por testar um sombreamento intermitente, em simulação ao que acontece em condições de campo com o sombreamento por outras espécies de maior porte. Os trabalhos sobre a resposta de plantas à restrição luminosa usam a sombra de árvores em ambientes de cultivo (SANTOS *et al.*, 2017), ou o sombreamento artificial com sombrite (PARISSI *et al.*, 2009; MARTINS *et al.*, 2014, COSTA *et al.*, 2018, SANTOS *et al.*, 2015, BRANT *et al.* 2018). Entretanto, esses dois tipos de restrição luminosa diferem na forma de incidência da luz, já que em condições naturais existe a alternância entre a radiação direta e difusa que incide no sub-bosque, o que não ocorre no sombreamento artificial. Nesse sentido, quando uma planta sombreada é estimulada por feixes de radiação direta, ela necessita de certo tempo para responder ao estímulo luminoso, aumentando sua fotossíntese (SALISBURY *et al.*, 1992). Também vale ressaltar que o presente estudo foi realizado em condições de campo e usou-se um sombreamento mais intenso, de 70%, similar ao que acontece em no sub-bosque de plantios florestais e de fruteiras (SCHMIDT *et al.*, 2017), enquanto Brant *et al.* (2018) utilizou 50% de restrição luminosa.

O maior controle observado nos tratamentos com sombreamento pode ser relacionado com as características morfológicas e químicas das plantas nesses ambientes que lançam mão de suas fontes de proteção para adaptação ao novo ambiente (COSTA *et al.*, 2018). Com mudanças na massa seca, área foliar, quantidade de reservas e quantidade de cera epicuticular a dinâmica de ação do herbicida é alterada (BRANT *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2018; TUFFI SANTOS *et al.*, 2015). Esses fatores podem aumentar a exposição das plantas ao glyphosate, além disso, com menor reserva elas tendem a diminuir sua capacidade de recuperação após a intoxicação (SILVA; SILVA, 2007; SANTOS *et al.*, 2015).

No presente estudo, o teor de cera epicuticular, amido, açúcar solúvel e açúcar total apresentaram forte correlação inversa com a intoxicação da *U. brizantha*. Por outro lado, quanto maior a área das folhas maior foi o controle (FIGURA 2). O sombreamento proporcionou redução do teor de reservas e cera epicuticular, além do aumento da área das folhas, com isso plantas nesses ambientes tornaram-se mais sensíveis ao glyphosate. A menor quantidade de cera e maior área das folhas aumenta a exposição das plantas ao glyphosate, aumentando sua interceptação e absorção (COSTA *et al.*, 2018). A redução da quantidade de reservas na *U. brizantha* cultivada em ambientes sombreados pode potencializar a carência por aminoácidos essenciais ocasionada pelo glyphosate, com isso aumentar a eficiência do controle.

A redução na massa seca remanescente de *U. brizantha* após a aplicação do herbicida no sombreamento contínuo está relacionada com a menor capacidade da planta em acumular fotoassimilados. Com restrição de 70% de luz, as plantas têm menor captação de elétrons pelo complexo

antena, conseqüentemente menor taxa de transporte de elétrons e menor energia para formação de açúcares solúveis, amido e diversas enzimas (TAIZ; ZEIGER; 2013). Por outro lado, essa resposta pode ser atribuída à atuação do glyphosate na inibição da rota do chiquimato, essa rota é responsável por cerca de 20% do carbono assimilado na planta, ao ser inibida a fotoassimilação decresce reduzindo assim o acúmulo de energia, o que pode potencializar a intoxicação em plantas com menos teor de carboidratos totais (SILVA, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2013). Outro fator que pode estar envolvido é a carência de aminoácidos essenciais, que terão sua formação inibida pelo glyphosate como a fenilalanina, tirosina e o triptofano (ALMEIDA *et al.*, 2019). Algumas plantas perenes como a *U. brizantha*, por acumularem reserva principalmente nos rizomas, podem não ser completamente mortas pelo glyphosate devido a sua capacidade de utilizar suas reservas para suprir as carências causadas pelo herbicida, como foi observado nas plantas a pleno sol. Entretanto, essa carência de nutrientes pode não ser suprida em plantas sombreadas que tem menor quantidade de reservas e, por consequência, são levadas à morte pelo herbicida mesmo em doses mais baixas.

Plantas com restrição luminosa tendem a apresentar maior área de suas folhas para potencializar a captação de luz. Com isso, a probabilidade de interceptação do herbicida por essas plantas é maior, em relação ao pleno sol, com reflexos positivos sobre o controle (TUFFI SANTOS *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2018).

Costa *et al.* 2018 atribuem a maior sensibilidade ao glyphosate de plantas de *Macroptilium atropurpureum* crescidas na sombra às características morfoanatômicas favoráveis a penetração e translocação do herbicida. Além disso, plantas sombreadas tendem a acumular mais nitrato, o que pode ser fator agravante na intoxicação pelo glyphosate uma vez que esse herbicida potencializa o acúmulo desse composto nas plantas causando toxidez (BELLALOUÏ *et al.*, 2006).

A penetração do herbicida na planta é um fator importante para sua eficiência, sem penetração adequada o herbicida não é capaz de ser transportado até as células do parênquima e ser translocado até o sítio de ação (SILVA; SILVA; 2007). A *U. brizantha* assim como outras plantas em pleno sol tendem a se proteger da perda de água pela deposição de cera na superfície foliar (TAIZ; ZEIGER; 2013). Esse composto protetor é geralmente de caráter apolar e tende a repelir a água e alguns herbicidas como o glyphosate que são de caráter polar (VIANA *et al.*, 2010). Com isso, a penetração do herbicida em folhas com maior teor de cera epicuticular é menos eficiente (COSTA *et al.*, 2018). Entretanto, a deposição de cera em plantas de ambientes sombreados é menor o que facilita a penetração e ação do herbicida (PROCÓPIO *et al.*, 2003; GOMES *et al.*, 2017).

A *U. brizantha*, por ser uma espécie eficiente no acúmulo de reservas, com vários pontos de crescimento, perene e de rápido estabelecimento, o controle por herbicidas não tem sido eficiente se utilizado sozinho, necessitando em certos casos de altas doses para um resultado satisfatório. Para o glyphosate, a dose mínima recomendada é de 1.440 g ha⁻¹, entretanto, na maioria dos casos, para um controle eficiente a dosagem supera 2.000 g ha⁻¹ (SILVA *et al.*, 2013). Por isso, o manejo integrado de plantas daninhas (MIPD) deve ser utilizado para proporcionar economia de recursos e menor degradação ambiental quando se trata do controle de *U. brizantha* e espécies semelhantes. A restrição luminosa é recorrente em diversos sistemas de cultivo e com frequência afeta o crescimento de plantas

daninhas. Sendo assim, deve ser considerada na estratégia do MIPD, pois as modificações nas plantas podem ter influência na ação do glyphosate, como verificado nesse trabalho.

Conclusão

U. brizantha cultivada em ambientes sombreados apresenta maior sensibilidade ao herbicida, tornando o controle da espécie eficiente com 765 g ha⁻¹ no sombreamento contínuo e 1075 g ha⁻¹ no sombreamento intermitente. A pleno sol é necessária uma dose maior do que as testadas para o controle eficiente da espécie.

Alterações na morfoanatomia das plantas, além de redução no acúmulo de reservas quando submetidas à restrição luminosa, possuem alta correlação com o controle de *U. brizantha*, o que confirma o envolvimento dessas características com a maior eficiência do glyphosate nos ambientes sombreados.

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, L. P.; *et al.* Effects of glyphosate exposure on human health: Insights from epidemiological and in vitro studies. **Science of The Total Environment**, v. 705, p. 135808, 2020.

ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **Asociación latinoamericana de malezas**, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

ALMEIDA, P. R.; *et al.* Toxicidade aguda (LC50) e efeitos comportamentais e morfológicos de formulado comercial com princípio ativo glifosato em girinos de *Physalaemus cuvieri* (Anura, Leptodactylidae) e *Rhinella icterica* (Anura, Bufonidae). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1115-1125, Dec. 2019.

ALVARES, C. A.; *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

APARICIO, V. C.; *et al.* Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. **Chemosphere**, v. 93, n. 9, p. 1866–1873, 2013.

ARTRU, S.; *et al.* Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 97, p. 38-47, jul. 2018.

BECKIE, Hugh J. Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate. **Pest Management Science**, p. n/a-n/a, 2011.

BELLALLOUI, N.; *et al.* Simulated Glyphosate Drift Influences Nitrate Assimilation and Nitrogen Fixation in Non-glyphosate-Resistant Soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 9, p. 3357–3364, 2006.

BENBROOK, C. M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. **Environmental Sciences Europe**, v. 28, n. 1, p. 3, 2016.

BRANT, M.C.; *et al.* 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 2020. Disponível em: agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.

CASSIGNEUL, A.; *et al.* Fate of glyphosate and degradates in cover crop residues and underlying soil: A laboratory study. **Science of the Total Environment**, v. 545–546, p. 582–590, 2016.

COSTA, G. A.; *et al.* 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.

DILL, G. M.; *et al.* 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.; *et al.* 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.

FERNANDO, N.; *et al.* Glyphosate Resistance of C3 and C4 Weeds under Rising Atmospheric CO₂. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.

FIDALSKI, J.; *et al.* Qualidade física do solo sob sistemas de preparo e cobertura morta em pomar de laranja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 76–83, 2009.

Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO), 2016. Pesticide Residues in Food 2016. Pesticide residues in food - 2016: toxicological evaluations. Geneva, 2016.

FREITAS, A. F. *et al.* *Urochloa brizantha* Interference in the *Phaseolus vulgaris* Radicular System Fertilized with Phosphorus. **Planta daninha**, Viçosa, v. 37, e019185690, 2019.

GÉLINAS, P.; Gagnon, F.; McKinnon, C. Wheat preharvest herbicide application, whole-grain flour properties, yeast activity and the degradation of glyphosate in bread. **International Journal of Food Science and Technology**, V. 53, Issue 7, 1597-1602, 2018.

GOMES, L. J. P.; *et al.* Chemical control and morphoanatomical analysis of leaves of different populations of sourgrass. **Planta Daninha**, v. 35, n. 0, 2017.

GREEN, J. M. The benefits of herbicide-resistant crops. **Pest Management Science**, v. 68, n. 10, p. 1323–1331, 2012.

Hodge, J.E. and Hofreiter, B.T. (1962) Determination of reducing sugars and carbohydrates. In: Whistler, R.L. and Wolfrom, M.L., Eds., *Methods in Carbohydrate Chemistry*, **Academic Press**, New York, 380-394.

JIANG, C. D.; *et al.* 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.

LA CECILIA, D.; *et al.* Glyphosate dispersion, degradation, and aquifer contamination in vineyards and wheat fields in the Po Valley, Italy. **Water Research**, v. 146, p. 37–54, 2018.

LANDRIGAN, P. J.; BELPOGGI, F. The need for independent research on the health effects of glyphosate-based herbicides. **Environmental Health**, v. 17, n. 1, p. 51, 2018.

LI, H.; *et al.* Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 267–275, nov. 2010.

LIMA, S. F.; *et al.* Suppression of *Urochloa brizantha* and *U. ruziziensis* by glyphosate underdoses. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 581–589, 2019.

MARTINS, A. D., *et al.* Relação do nível de sombreamento artificial e da adubação sobre o desenvolvimento da forrageira "*Urochloa brizantha*" cv. Marandu. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 4, 2014.

MACHADO, A. F. L.; *et al.* Absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate em clones de eucalipto: clones. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 549–554, 2009.

MCCREADY, R. M.; *et al.* Determination of Starch and Amylose in Vegetables. **Analytical Chemistry**, v. 22, n. 9, p. 1156–1158, 1950.

MENG, F.; *et al.* Trade-offs between light interception and leaf water shedding: a comparison of shade- and sun-adapted species in a subtropical rainforest. **Oecologia**, v. 174, p. 13–22, ago. 2014.

MYERS, J. P.; *et al.* Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. **Environmental Health**, v. 15, n. 1, p. 19, 2016.

PARISSI, Z. M., KOUKOURA, Z. Effect of fertilization and artificial shading on N and various mineral content of herbaceous species. **Options Méditerranéennes**, v.85, p.159-164, 2009.

PEDROSA, A. W.; *et al.* Brachiaria residues fertilized with nitrogen in coffee fertilization. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 366-373, 2014.

PLUMMER, D. T. **An introduction to practical biochemistry**. 2nd ed. London; New York: McGraw-Hill, 1978.

PROCÓPIO, S. O.; *et al.* Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil: III - *Galinsoga parviflora*, *Crotalaria incana*, *Conyza bonariensis* e *Ipomoea cairica*. **Planta daninha**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 1-9, Abr. 2003

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

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. Photosynthesis: environmental and agricultural aspects. **Plant physiology**. Wadsworth publishing company, Belmont, CA, v. 286, p. 249-265, 1992.

SANTOS, M. V., *et al.* Brachiaria physiological parameters in agroforestry systems. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, 2017.

SANTOS, M.V.; *et al.* 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, S. A.; *et al.* Influence of shading on the leaf morphoanatomy and tolerance to glyphosate in *Commelina benghalensis* L. and *Cyperus rotundus* L. **Australian Journal of Crop Science**, v.9, p.135-142, 2015.

SHANER, D. L.; *et al.* What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us?. **Pest Management Science**, v. 68, n. 1, p. 3–9, 2012.

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

SILVA, D. V.; *et al.* Glyphosate herbicide use in *Urochloa brizantha* management in intercropping with herbicide-resistant maize. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 133–141, 2016.

SILVA, U. R. da; *et al.* Eficácia do glyphosate na dessecação de espécies de *Urochloa*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 202, 2013.

- SCHMIDT, D.; *et al.* Morfoanatomia foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, v. 64, n. 4, p. 368–375, 2017.
- SKOSS, J. D. Structure and Composition of Plant Cuticle in Relation to Environmental Factors and Permeability. **Botanical Gazette**, v. 117, n. 1, p. 55–72, set. 1955.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TOMLIN, C.; British crop protection council (Orgs.). **The pesticide manual: a world compendium**. 12th ed. Farnham: British Crop Protection Council, 2000.
- TUFFI SANTOS, L. D.; *et al.* Phenotypic plasticity of *Neonotonia wightii* and *Pueraria phaseoloides* grown under different light intensities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 1, p. 519–528, 2015.
- TRAVAGLIA, C.; *et al.* Towards sustainable maize production: Glyphosate detoxification by *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas* sp. **Crop Protection**, v. 77, p. 102–109, 2015.
- VIANA, R. G.; *et al.* Quantificação e composição química de cera epicuticular de folhas de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 753–758, 2010.
- Zoller, O.; *et al.* Glyphosate residues in Swiss market foods: monitoring and risk evaluation. **Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance**, v. 11, n. 2, p. 83-91.