

GUSTAVO AMARAL COSTA

**MANEJO DE SIRATRO COM GLYPHOSATE E CARFENTRAZONE-ETHYL
EM DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal, concentração em Produção Vegetal, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Leonardo David Tuffi Santos

MONTES CLAROS

2015

C837m Costa, Gustavo Amaral.
2015

Manejo de siratro com glyphosate e carfentrazone-ethyl em diferentes intensidades luminosas/ Gustavo Amaral Costa. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2015.
68 f.: il.

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

Orientador: Leonardo David Tuffi Santos.

Banca examinadora: Leidivan Almeida, Márcia Vitória, José Barbosa, Leonardo David Tuffi Santos.

Inclui bibliografia: f. 66-68.

1. Erva daninha - Controle. 2. Herbicidas. 3. Anatomia Vegetal. I. Santos, Leonardo David Tuffi (Orientador). II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 632

ELABORADA PELA BIBLIOTECA COMUNITÁRIA UNIVERSITÁRIA DO
ICA/UFMG

GUSTAVO AMARAL COSTA

MANEJO DE SIRATRO COM GLYPHOSATE E CARFENTRAZONE-ETHYL
EM DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS

Prof. Dr. Leonardo David Tuffi Santos
(Orientador - UFMG/ICA)

Aprovada em 23 de fevereiro de 2015.

Montes Claros
2015

DEDICO,

aos meus pais que sempre
me apoiaram nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG pela disponibilização da área, equipamentos e mão de obra.

À CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado durante o curso.

À CENIBRA pelo fornecimento do herbicida e financiamento de parte dos experimentos.

Ao professor Leonardo David Tuffi Santos pela orientação.

Ao professor Bruno Francisco Sant'Anna dos Santos pela coorientação.

Aos professores Reginaldo Arruda Sampaio e Flaviano Oliveira Silvério por cederem equipamentos e laboratórios.

Ao professor Francisco André Ossamu Tanaka(ESALQ-USP), pelo auxílio nas análises de microscopia.

Aos colegas do GPPLAN pelo convívio no laboratório de Plantas Daninhas e por todo apoio durante o desenvolvimento do experimento.

Aos amigos Leandro, Izabela, Samuel e Anarely que tanto contribuíram com essa conquista.

A Deus pela força espiritual e a minha família pelo incentivo no decorrer dessa etapa.

Muito obrigado!

RESUMO

O surgimento de plantas daninhas tolerantes ao glyphosate como o siratro (*Macroptilium atropurpureum*) e o fato das recomendações de controle não levarem em consideração as diferentes intensidades luminosas em que as plantas estão alocadas, tem se tornado problema constante na agricultura. O uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação ou mesmo a combinação entre produtos é fundamental para traçar o manejo adequado de espécies tolerantes aos herbicidas em ambientes variados. Objetivou-se com este trabalho avaliar a relação entre a disponibilidade luminosa e a aplicação de glyphosate e carfentrazone-ethyl, isolados ou em mistura, sobre os aspectos fisiológicos, anatômicos e de controle de plantas de siratro. O ensaio foi conduzido em vasos em delineamento de blocos casualizados com 5 repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 3x4, sendo diferentes intensidades luminosas (0 ou pleno sol, 50 e 70 % de sombra) e dois herbicidas combinados ou não, dispostos em: 40 g ha⁻¹ de carfentrazone-ethyl, 1440 g ha⁻¹ de glyphosate, 1080+30 g ha⁻¹ de glyphosate + carfentrazone-ethyl e testemunha. Foram avaliados a porcentagem de controle das plantas, aspectos anatômicos através de microscopia de luz e de varredura, características fisiológicas após aplicação dos herbicidas, além de quantificada a cera epicuticular e a biomassa. As aplicações dos herbicidas glyphosate e carfentrazone-ethyl isolados, não resultaram em efeito satisfatório no controle das plantas de siratro mantidas a pleno sol. Entretanto, a combinação entre o carfentrazone-ethyl e o glyphosate foi favorável para o controle de siratro em todos os ambientes, confirmando efeito aditivo da mistura. Plantas de siratro cultivadas a pleno sol apresentaram maior densidade de tricomas na folha e maior quantidade de ceras, o que pode estar relacionado à maior tolerância desses indivíduos, quando comparadas a plantas cultivadas sob sombreamento. O sombreamento imposto ao cultivo dessa planta daninha ocasionou redução na espessura do limbo foliar e na deposição de ceras quando comparado a plantas cultivadas a pleno sol. Os herbicidas quando em contato com os tricomas promovem a perda do turgor dessa estrutura. Aplicações isoladas de carfentrazone-ethyl na sombra provocaram a ruptura da cutícula. O sombreamento promoveu reduções na condutância estomática e na eficiência no uso da água. A combinação de glyphosate e carfentrazone-ethyl promoveu redução drástica na condutância estomática, eficiência do uso da água e carbono interno das folhas. A interação do sombreamento com os herbicidas reduz a taxa fotossintética e a eficiência no uso da água. A biomassa seca da parte aérea sofreu reduções a partir da interação entre as intensidades luminosas e as doses dos herbicidas. Entretanto em aplicações isoladas do carfentrazone-ethyl a biomassa se manteve com valores próximos a testemunha em pleno sol. A plasticidade fenotípica na morfoanatomia foliar imposta pela restrição luminosa favoreceu a absorção e translocação dos herbicidas. Pode-se inferir que a redução no acúmulo de massa seca pelas plantas de siratro na sombra justifica-se pela menor eficiência fotossintética e nos demais parâmetros fisiológicos bem como a potencialização do efeito herbicida do glyphosate, carfentrazone-ethyl e glyphosate + carfentrazone-ethyl sob restrição luminosa.

Palavras-chave: controle de plantas daninhas, características fisiológicas, anatomia foliar, herbicidas, ceras.

ABSTRACT

The emergence of weeds tolerant to glyphosate as siratro (*Macroptilium atropurpureum*) and the fact that the control recommendations do not take into account the different light intensities in which plants are allocated, has become constant problem in agriculture. The use of herbicides with different mechanisms of action or even a combination of products is fundamental to draw the appropriate management of species tolerant to herbicides in varied environments. The objective of this study was to evaluate the relationship between light availability and the application of glyphosate and carfentrazone-ethyl, individually or in combination, on the physiological, anatomical aspects and control siratro plants. The trial was conducted in pots in a randomized block design with 5 repetitions. The treatments were arranged in a 3x4 factorial design, with different brightness (0 or full sun, 50 and 70% shade) and two combined or not herbicides, arranged in: 40 g ha⁻¹ of carfentrazone-ethyl, 1440 g ha⁻¹ of glyphosate, 1080+30 g ha⁻¹ of glyphosate + carfentrazone-ethyl and control. They were evaluated the percentage control of the plants, anatomical aspects through light and scanning microscopy, physiological characteristics after herbicide application, in addition to quantified the epicuticular wax and biomass. The applications of glyphosate and carfentrazone-ethyl isolated did not result in satisfactory effect in controlling siratro plants kept in full sun. However, the combination of carfentrazone-ethyl and glyphosate was favorable for siratro control in all environments, confirming additive effect of the mixture. Siratro plants grown in full sun showed higher density of trichomes in leaves and larger amount of waxes, which may be related to greater tolerance of these individuals when compared to plants grown under shade. The shading imposed the cultivation of this plant decreased the leaf blade thickness and deposition of wax compared to plants grown in full sun. Herbicides when in contact with the trichomes promote the loss of turgor of this structure. Isolated applications of carfentrazone-ethyl in the shadow caused the rupture of the cuticle. The shading promoted reductions in stomatal conductance and efficiency in water use. The combination of glyphosate and carfentrazone-ethyl promoted drastic reduction in the stomatal conductance, water use and internal carbon leaves efficiency. The interaction of the shading with herbicides reduces the photosynthetic rate and efficiency in water use. The dry biomass of the aerial part suffered cuts from the interaction between light intensities and doses of herbicides. However, in isolated applications of carfentrazone-ethyl biomass remained with values close to witness in full sun. The phenotypic plasticity in the leaf morphoanatomy restriction imposed by the luminous favored the absorption and translocation of the herbicide. It can be inferred that the reduction in dry matter accumulation by siratro plants in the shade justifies by the lower photosynthetic efficiency and other physiological parameters as well as the enhancement of herbicide glyphosate effect, carfentrazone-ethyl and glyphosate + carfentrazone-ethyl under light restriction.

Keywords: weed control, physiological characteristics, leaf anatomy, herbicides, waxes.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1. Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) aspecto de cobertura do solo (A) e detalhe dos folíolos, vagens e flor arroxeadas (B)..... 21

CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA DO USO ISOLADO OU COMBINADO DE DOIS HERBICIDAS NO CONTROLE DO SIRATRO (*Macroptilium atropurpureum*) SOB DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS

Figura 1. Danos causados pelos herbicidas, isolados ou em mistura, na face adaxial da epiderme de siratro (*Macroptilium atropurpureum*), 24 horas após aplicação dos herbicidas. (A); (B) e (C): detalhe dos tricomas nos diferentes ambientes, (D): perda do turgor do tricoma. (E); (G); (H); (I); as setas indicam ruptura da cutícula, (K); (L) setas indicam perda da turgescência da base do tricoma, (F); seta indica redução do turgor do tricoma e asterisco indica ruptura da cutícula..... 41

Figura 2. Epiderme na face adaxial e abaxial de folhas de siratro (*Macroptilium atropurpureum*). (A): disposição dos tricomas sem aplicação dos herbicidas e (B) após aplicação dos herbicidas onde as setas indicam perda do turgor. (C) e (F); densidade de tricomas elevada em relação a (D); (E); (G) e (H)..... 43

CAPÍTULO 3: FISIOLOGIA DE SIRATRO (*Macroptilium atropurpureum*) APÓS APLICAÇÕES DE GLYPHOSATE E CARFENTHAZONE-ETHYL EM DIFERENTES AMBIENTES

Figura 1. Área e formato de folíolos de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) em diferentes intensidades luminosas. Em (A) pleno sol; (B) 50% de sombra; (C) 70% de sombra. 61

LISTA DE GRÁFICOS

CAPITULO 2: EFICIÊNCIA DO USO ISOLADO OU COMBINADO DE DOIS HERBICIDAS NO CONTROLE DO SIRATRO (*Macroptilium atropurpureum*) SOB DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS

Gráfico 1. Médias decendiais de insolação (h dia⁻¹), precipitação (mm) e temperatura mínima e máxima (°C) referente aos meses de fevereiro a maio de 2014, Montes Claros – MG. 33

Gráfico 2. Cera epicuticular ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de folhas de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) em função de diferentes intensidades luminosas. As barras representam o desvio padrão..... 39

CAPITULO 3: FISILOGIA DE SIRATRO (*Macroptilium atropurpureum*) APÓS APLICAÇÕES DE GLYPHOSATE E CARFENTRAZONE-ETHYL EM DIFERENTES AMBIENTES

Gráfico 1. Médias decendiais de insolação (h dia⁻¹), precipitação (mm) e temperatura mínima e máxima (°C) referente aos meses de fevereiro a maio de 2014, Montes Claros – MG. 54

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 2: EFICIÊNCIA DO USO ISOLADO OU COMBINADO DE DOIS HERBICIDAS NO CONTROLE DO SIRATRO (*Macroptilium atropurpureum*) SOB DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS

Tabela 1. Herbicidas e doses utilizadas no controle químico do siratro 34

Tabela 2. Controle (%) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, em função da intensidade luminosa 4, 16 e 28 dias após aplicação (DAA). 38

Tabela 3. Densidade de tricomas (mm^{-2}) na face abaxial e adaxial da epiderme em siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, sob diferentes intensidades luminosas. 42

Tabela 4. Espessura (μm) do parênquima paliçádico (PP) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, em função da intensidade luminosa aos 24 e 48 horas após aplicação (HAA)..... 44

Tabela 5. Espessura (μm) da epiderme na face adaxial (EAD), parênquima lacunoso (PL), epiderme na face abaxial (EAB), e total do limbo foliar (ET) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a diferentes ambientes aos 24 e 48 horas após a aplicação (HAA). 44

CAPITULO 3: FISIOLOGIA DE SIRATRO (*Macroptilium atropurpureum*) APÓS APLICAÇÕES DE GLYPHOSATE E CARFENTRAZONE-ETHYL EM DIFERENTES AMBIENTES

Tabela 1. Herbicidas e doses utilizadas para o controle do siratro 55

Tabela 2. Taxa fotossintética (A) e eficiência no uso da água (EUA) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, em função da intensidade luminosa aos 2 e 6 dias após aplicação (DAA)..... 58

Tabela 3. Condutância estomática (Gs) e eficiência do uso da água (EUA) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a diferentes intensidades luminosas aos 6 dias após aplicação (DAA) de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl..... 59

Tabela 4. Condutância estomática (Gs), eficiência do uso da água (EUA) e carbono interno (Ci) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a

doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, aos 2 e 6 dias após aplicação (DAA)..... 60

Tabela 5. Massa seca da parte aérea (g vaso^{-1}) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, em função da intensidade luminosa de crescimento aos 28 dias após aplicação (DAA)..... 62

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

- A - taxa fotossintética
- ALAM - Asociación Latino Americana De Malezas
- Ci - carbono interno
- DAA - dias após a aplicação
- E - taxa transpiratória foliar
- EAB - epiderme na face abaxial
- EAD - epiderme na face adaxial
- EUA - eficiência no uso da água
- EPSPs - Enolpiruvil-shikimato-fosfato sintetase
- ET - espessura total do limbo foliar
- Gs - condutância estomática ao vapor de água
- HAA – horas após aplicação
- PL- parênquima lacunoso
- PP- parênquima paliçádico
- PROTOX - protoporfirinogênio oxidase

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Manejo químico de plantas daninhas	18
2.2 Tolerância das plantas daninhas aos herbicidas	19
2.3 O Siratro (<i>Macroptilium atropurpureum</i>)	20
2.4 Influência da intensidade luminosa no manejo de plantas daninhas	22
REFERÊNCIAS	24
CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA DO USO ISOLADO OU COMBINADO DE DOIS HERBICIDAS NO CONTROLE DO SIRATRO (<i>Macroptilium atropurpureum</i>) SOB DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS	
RESUMO	29
ABSTRACT	30
1 INTRODUÇÃO	31
2 MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1 Análises anatômicas	35
2.1.1 Microscopia de luz	35
2.1.2 Microscopia de varredura	35
2.2 Quantificação de cera epicuticular	36
2.3 Avaliações de eficiência de controle	36
2.4 Análises estatísticas	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4 CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS	47
CAPITULO 3: FISILOGIA DE SIRATRO (<i>Macroptilium atropurpureum</i>) APÓS APLICAÇÕES DE GLYPHOSATE E CARFENTRAZONE-ETHYL EM DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS	
RESUMO	51
ABSTRACT	52
1 INTRODUÇÃO	53
2 MATERIAL E MÉTODOS	54
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57

4 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de plantas daninhas é considerada como um dos principais problemas na agricultura e na pecuária. Estima-se que ocorra redução de 30 a 40% do que é produzido no mundo agrícola por influência negativa dessas plantas (LORENZI, 2008).

O manejo adequado das plantas daninhas é fundamental para o estabelecimento e permanência das espécies de interesse. A escolha do método de manejo deve levar em consideração a disponibilidade de mão de obra capacitada, fatores ambientais, econômicos e também as plantas daninhas presentes na área. Dentre os diversos métodos de manejo, o uso de herbicidas possui destaque. Entre as principais vantagens da adoção desse método estão o controle eficiente de plantas com propagação vegetativa e a menor dependência de mão de obra.

Entretanto, a utilização de um mesmo herbicida para controle de plantas daninhas por longos períodos tem sido considerada prática preocupante quanto à alta pressão de seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes e tolerantes a esses agrotóxicos (SILVA, *et al.*, 2007b).

Plantas de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) tem sido relatadas por produtores e pesquisadores como tolerantes ao herbicida glyphosate (CONCENÇO *et al.*, 2012), o que é bastante preocupante já que o manejo dessa planta daninha ainda é pouco esclarecido pela literatura.

Fatores ambientais, como a disponibilidade luminosa, podem estar relacionados a essa maior ou menor sensibilidade das plantas a herbicidas, entretanto, as recomendações de manejo não levam em consideração o ambiente em que as plantas estão inseridas (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2013). Compreender como o ambiente influencia no crescimento e desenvolvimento das plantas daninhas é medida fundamental para reduzir os impactos provocados ao meio ambiente através do uso de produtos menos tóxicos, mais eficientes no controle e em doses adequadas.

Os estudos sobre as modificações morfofisiológicas, provocadas pela disponibilidade luminosa (KUREPIN *et al.*, 2012; MCINTYRE; STRAUSS,

2014) e pelos herbicidas (SANTOS *et al.*, 2014;) em plantas são necessários para melhor entendimento do uso racional desses agrotóxicos.

O uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação ou mesmo a combinação entre produtos é fundamental para traçar o manejo adequado de espécies tolerantes e ou resistentes em ambientes variados (MOREIRA *et al.*, 2010; BECKIE; TARDIF, 2012; MATZRAFI, 2014).

Na literatura as informações sobre a biologia do siratro e de suas relações com o controle químico são escassas. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a relação entre a disponibilidade luminosa e a aplicação de glyphosate e carfentrazone-ethyl, isolados ou em mistura, sobre os aspectos fisiológicos, anatômicos e de controle de plantas de siratro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manejo químico de plantas daninhas

O manejo químico, considerado um dos mais utilizados na atualidade, teve início no final do século XIX. Entretanto sua expansão ocorreu apenas após 1944 com a descoberta das propriedades químicas do 2,4-D capazes de suprimir plantas. A partir daí, substâncias com essas características ficaram conhecidas como herbicidas. Esses produtos podem ser classificados quanto a sua seletividade, período de aplicação, absorção, translocação e mecanismo de ação na planta (LORENZI, 2008).

Herbicidas como o glyphosate e o carfentrazone-ethyl são amplamente utilizados em pós-emergência das plantas daninhas e também como dessecantes. A absorção desses produtos nas plantas ocorre via foliar e caules tenros. O glyphosate apresenta translocação, principalmente via simplasto, com mecanismo de ação ocorrendo como inibidor da síntese de EPSPs (5 enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintetase). O carfentrazone-ethyl possui mecanismo de ação como inibidor da PROTOX (protoporfirinogênio oxidase) e translocação pelo floema limitada pela rápida morte das células (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

A aplicação de herbicidas em pós-emergência deve ser realizada quando as plantas apresentarem folhas para facilitar a absorção desses produtos, pois apesar de em alguns casos serem absorvidos pelas raízes o contato com o solo impede absorção pelas plantas (SILVA *et al.*, 2007a).

O uso de herbicidas, apesar de trazer vantagens nas atividades agrícolas tem gerado, nas últimas décadas, preocupações quanto a lixiviação no solo (MONQUERO *et al.*, 2008), contaminação das águas superficiais (KONSTANTINO *et al.*, 2006) e subterrâneas (GUZZELLA *et al.*, 2006; HILDEBRAND *et al.*, 2008), efeitos negativos sobre a microbiota do solo (SANTOS *et al.*, 2005) e sobre insetos benéficos (MENEZES *et al.*, 2012; EGAN *et al.*, 2014). O contato de herbicidas em organismos não alvo, através da deriva, tem sido constantemente relatado na literatura (TUFFI SANTOS *et al.*, 2006; BROWN *et al.*, 2009). Produtos não seletivos como o glyphosate tem gerado problemas quanto à intoxicação das culturas e limitação no

crescimento e desenvolvimento das plantas (COSTA *et al.*, 2009; BOUTIN *et al.*, 2014).

Adicionalmente, as possibilidades de alteração na flora daninha, com destaque para a seleção de biótipos resistentes e tolerantes (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2004; SILVA *et al.*, 2007b; SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2013), tem-se tornado um dos principais problemas do uso irracional de herbicidas.

2.2 Tolerância das plantas daninhas aos herbicidas

Tolerância se relaciona com a capacidade que determinadas plantas possuem de não apresentar os efeitos esperados após aplicação de doses recomendadas de herbicidas. Dessa forma, plantas daninhas são selecionadas pelo baixo impacto causado pelos herbicidas (CHRISTOFFOLETI *et al.*, 2000; SILVA *et al.*, 2007b).

Modificações na absorção e translocação nas plantas permitem que menores quantidades de herbicida cheguem ao local de ação, o que pode impedir que os efeitos sejam suficientes para o controle da planta daninha. Além disso, determinadas espécies conseguem decompor a molécula do herbicida tornando-a incapaz de causar danos (SILVA *et al.*, 2007a).

Em algumas plantas o mecanismo de tolerância tem sido avaliado na literatura, como é o caso da *Commelina benghalensis* em que a tolerância ao herbicida glyphosate pode estar relacionada à absorção e ao metabolismo diferencial e também a *Ipomoea grandifolia* em que reduzida translocação do herbicida pode caracterizar a tolerância da espécie (MONQUERO, 2004a).

O estágio de desenvolvimento das plantas também pode ser fator que contribui para tolerância de *Commelina benghalensis* ao herbicida glyphosate indicando que o controle em estádios iniciais é mais eficiente para esta espécie (DIAS *et al.*, 2013).

Em *Digitaria insularis* a elevada quantidade de amido encontrada no rizoma pode ser um dos mecanismos que dificultem a translocação do herbicida glyphosate e possibilite a rebrota da parte aérea das plantas tornando as tolerantes ao produto (MACHADO *et al.*, 2008).

Diversas plantas daninhas tem sido relatadas como de difícil controle pelo glyphosate aplicado de forma isolada, entretanto a mistura desse herbicida com carfentrazone-ethyl tem promovido bons resultados no controle de diversas espécies como *Galinsoga parviflora* (MONQUERO *et al.*, 2001), *Commelina diffusa* e *Commelina benghalensis* (RONCH *et al.*, 2002), *Amaranthus hybridus*, *Desmodium tortuosum*, *Bidens pilosa*, *Digitaria horizontalis* (WERLANG; SILVA, 2002).

O siratro (*Macroptilium atropurpureum*), apesar de ser considerada planta com potencial para a forragicultura (VALENTIN, 2010) tem sido relatada como infestante em áreas cultivadas (TUFFI SANTOS *et al.*, 2013) e sua ocorrência tem ganhado importância em regiões do sudeste.

2.3 O Siratro (*Macroptilium atropurpureum*)

Phaseolinae Benth. (Leguminosae) é uma subtribo da ordem Fabales que compreende 21 gêneros e cerca de 315 espécies, com distribuição em todas as regiões tropicais da Ásia, África e das Américas. Suas espécies são caracterizadas principalmente pelo hábito volúvel, folhas trifolioladas e estilete barbado. Algumas espécies desse gênero apresentam potencial econômico, e por este motivo são amplamente difundidas e cultivadas por todo o mundo (SNAK, 2011). O Gênero *Macroptilium* engloba aproximadamente 20 espécies, sendo um dos mais conhecidos na subtribo Phaseolinae (DELGADO-SALINAS; LEWIS, 2008).

Dentre as espécies com uso econômico, destaca-se *M. atropurpureum* e *M. lathyroides* que são utilizadas como plantas forrageiras (MONKS *et al.*, 2006; GUERRA *et al.*, 2007; VASCONCELOS *et al.*, 2011).

Macroptilium atropurpureum, conhecida no Brasil como Siratro, é uma leguminosa perene, volúvel, com três folíolos pubescentes, sistema radicular pivotante, propagação através de sementes e que apresenta boa cobertura do solo. Caracteriza-se como uma planta de moderada tolerância ao sombreamento, boa adaptação aos períodos de seca e aos diferentes tipos de solo (MORAES, 1995; VALENTIN, 2010; FAO, 2014;). A espécie é conhecida no mundo como siratro (Américas e Inglaterra), conchito e purple bean (Inglaterra e Estados Unidos). Possui fácil identificação por possuir

folíolos laterais com invaginações características, pilosidade intensa nas folhas, coloração prateada na face abaxial das folhas e verde clara na face adaxial e flores arroxeadas a avermelhadas (VALENTIN, 2010), assim como pode ser observado na Figura 1.

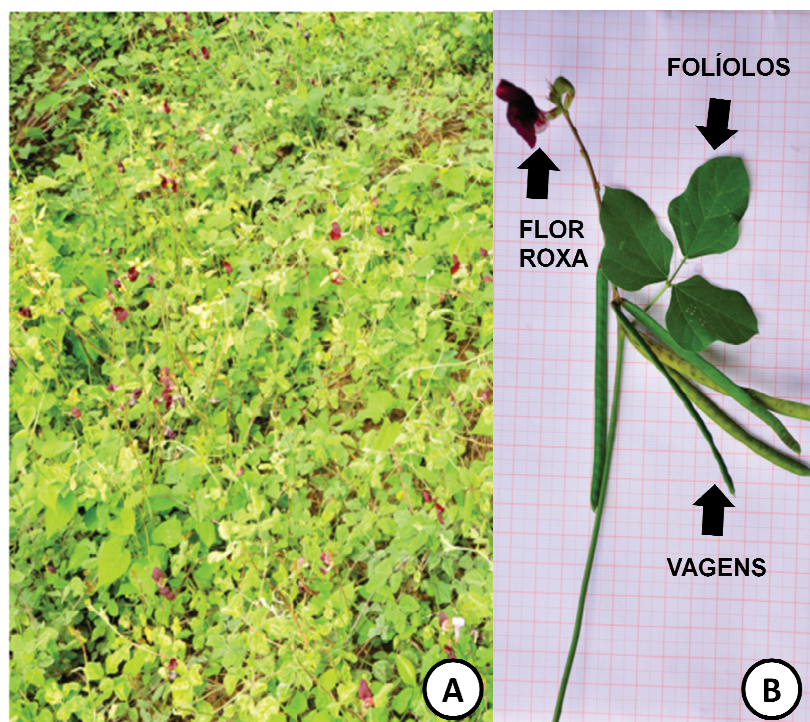


FIGURA 1. Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) aspecto de cobertura do solo (A) e detalhe dos folíolos, vagens e flor arroxeadada (B).
Fonte: Do autor.

É uma leguminosa que exige precipitações variando entre 850 e 1500 mm, sensível ao frio com desenvolvimento favorável em temperaturas médias próximas aos 21°C (PUPO, 1979).

É considerada planta daninha importante em áreas de cultivo agrícola tendo em vista sua elevada capacidade de produção de sementes, vigor, cobertura do solo (Figura 1) e redução na produtividade das culturas de interesse (LORENZI, 2008; OLIVEIRA; FREITAS, 2008). Seu hábito volúvel causa interferência no crescimento das plantas cultivadas e dificulta tratamentos culturais e a colheita.

O siratro tem sido relatado como infestante em cultivos de eucalipto, com distribuição em ambientes bastante diversos ao longo de praticamente todo o ciclo da cultura (TUFFI SANTOS *et al.*, 2013).

2.4 Influência da intensidade luminosa no manejo de plantas daninhas

A luz, temperatura, disponibilidade hídrica e solo são fatores que estão envolvidos no crescimento e desenvolvimento das plantas (LIMA JR. *et al.*, 2006). Mudanças nas condições de luminosidade do ambiente podem alterar as características de crescimento e desenvolvimento das plantas através de alterações na taxa fotossintética alocação dos fotoassimilados (DIAS FILHO, 1997).

Em estudos com o crescimento de botão-de-ouro (*Siegesbeckia orientalis*) em diferentes níveis de luminosidades, foram encontrados maiores valores de área foliar, altura, números de folhas e taxa de crescimento absoluto dessa espécie quando inserida em ambientes de baixa intensidade luminosa, indicando que essa planta é favorecida pelo sombreamento (AGUILERA *et al.*, 2004).

Alterações na taxa de crescimento, biomassa, área foliar e teores de clorofila podem estar relacionadas a estratégias das plantas para apresentarem maiores taxas de fotossíntese e de transpiração nos ambientes sombreados (NAKAZONO *et al.*, 2001).

Algumas plantas possuem elevada capacidade de se adaptarem aos mais diversificados ambientes. Esta plasticidade fenotípica observada em algumas plantas se deve a modificações fisiológicas e anatômicas em suas folhas quando submetida a condições de luminosidade variáveis. Dessa forma, folhas expostas ao sol tendem a apresentar modificações anatômicas como maior espessura nas células paliçádicas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Em ambientes sombreados, plantas daninhas como trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e tiririca (*Cyperus rotundus*) tendem a se adaptar as condições de baixa luminosidade, no entanto isso as torna mais vulneráveis ao herbicida glyphosate (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2013).

A cutícula é a primeira barreira a penetração dos herbicidas na planta sendo a absorção variável conforme fatores inerentes ao herbicida, a espécie, a idade e as condições ambientais nas quais a planta está inserida (SILVA, *et al.*, 2007a).

Os principais componentes da cutícula são a cutina e as ceras. A cutina é um biopoliéster formado de ácidos graxos hidroxilados de cadeia longa (MONQUERO *et al.*, 2004b). Já as ceras são constituídas de um filme de característica amorfa e estão presentes no conteúdo intracelular da cutina ou são depositadas na superfície da cutícula e de acordo com a planta em que estão presentes podem formar camadas finas, cristais ou placas de diferentes tamanhos (BARTHLOTT *et al.*, 1998).

As ceras atuam como barreira contra a perda de água em excesso através da transpiração, a ação de agentes causadores de doenças, radiação solar, a entrada de produtos químicos e outros possíveis contaminantes no interior das plantas (HEREDIA *et al.*, 1998).

Entender a relação da intensidade luminosa sobre morfofisiologia e anatomia das plantas daninhas, bem como sua interação com os herbicidas torna-se fundamental para o sucesso no manejo dos cultivos e para o uso racional desses agrotóxicos.

REFERÊNCIAS

AGUILERA, D. B.; FERREIRA, F. A.; CECON, P. R. Crescimento de *Siegesbeckia orientalis* sob diferentes condições de luminosidade. **Planta Daninha**, v.22, n.1, p.43-51, 2004.

BARTHLOTT, W.; NEINHUIS C.; CUTLER D.; DITSCH F.; MEUSEL I.; THEISEN I.; WILHELMI H. Classification and terminology of plant epicuticular waxes. **Botanical Journal of the Linnean Society**. v. n.3 126, p. 237-260, 1998.

BECKIE, H. J.; TARDIF, F. J. Herbicide cross resistance in weeds. **Crop Protection**. v.35, p.15-28, 2012

BOUTIN, C.; STRANDBERG, B.; CARPENTER, D.; MATHIASSEN, S.K.; THOMAS, P. J. Herbicide impact on non-target plant reproduction: What are the toxicological and ecological implications? **Environmental Pollution**, v.185, p.295-306, 2014.

BROWN, L. R.; ROBINSON, D. E.; NURSE, R. E.; SWANTON, C. J.; SIKKEMA, P. H. Soybean response to simulated dicamba/diflufenzopyr drift followed by postemergence herbicides. **Crop Protection**, v. 28, p.539-542, 2009.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; MEDEIROS, D.; MONQUEIRO, P. A.; PASSINI, T. Plantas daninhas à cultura da soja: controle químico e resistência a herbicidas. In: CÂMARA, G. M. (Ed.) **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: ESALQ, 2000,p.179-202.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Definições e situação da resistência de plantas daninhas aos herbicidas no Brasil e no mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P. J. (Coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 2.ed. Campinas: Associação Brasileira de Ação a Resistência de Plantas aos Herbicidas, p. 3-22, 2004.

CONCENÇO, G.; ANDRES, A.; GALON, L.; PONTES, C. S.; CORREIA, V. Controle de *Macroptilium lathyroides* com herbicidas aplicados em pré e pós-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.1, p.11-23, 2012.

COSTA, N. V.; ERASMO, E. A. L.; QUEIROZ, P. A.; DORNELAS, D. F. DORNELAS, B. F. Efeito da deriva simulada de glyphosate no crescimento inicial de plantas de pinhão-manso. **Planta Daninha**, v. 27, n. Especial, p. 1105-1110, 2009.

DELGADO-SALINAS, A.; LEWIS, G. P. A. new species of *Macroptilium* (Benth.) Urb. (Leguminosae: Papilionoideae: Phaseolinae) from North-Eastern Brazil. **Kew Bulletin**, v.63, n.1, p.151-154, 2008.

DIAS, A. C. R.; CARVALHO, S. J. P. e CHRISTOFFOLETI, P. J. Fenologia da trapoeraba como indicador para tolerância ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 185-191, 2013.

DIAS FILHO, M.B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.6, p.789-796, 1997.

EGAN, J. F.; BOHNENBLUST, E.; GOSLEEC, S. MORTENSENA, D.; TOOKER, J. Herbicide drift can affect plant and arthropod communities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.185, p.77–87, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
Macroptilium atropurpureum(DC) Urb.
<<http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/gbase/data/pf000049.htm>>. Acesso em: 31 de outubro de 2014.

GUERRA, J.G.M.; ESPINDOLA, J. A. A.; PERIN, A.; TEIXEIRA, M. G.; ALMEIDA, D. L.; ASSIS, R. L. Desempenho de leguminosas tropicais perenes como plantas de cobertura do solo. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, 2007.v.20, 39p.

GUZZELLA, L.; POZZONI, F.; GIULIANO, G. Herbicide contamination of surficial groundwater in Northern Italy. **Environmental Pollution**, v.142, n.2p.344-353 ,2006.

HEREDIA, A.; CASADO, C. G.; LAGUNA, L., REINA, J. J.; SERRANO, J. M.; DOMÍNGUEZ, E. La cutícula vegetal: estructura y funciones. **Ecologia**, v. 12, p. 293-305, 1998.

HILDEBRANDT, A.; M GUILLAMÓN, M.; LACORTE, S.; TAULER, R.; BARCELÓ, D. Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain). **Water Research**, v.42, n.13, p.3315– 3326, 2008.

KONSTANTINOOU, I. K.; HELA, D. G.; ALBANIS, T. A. The status of pesticide pollution in surface waters (rivers and lakes) of Greece. Part I. Review on occurrence and levels. **Environmental Pollution** v. 141, p. 555-570, 2006.

KUREPIN, L. V.; FARROW, S.; WALTON, L. J.; EMERY, R. J. N.; PHARIS, R. P., CHINNAPPA, C. C. Phenotypic plasticity of sun and shade ecotypes of *Stellaria longipes* in response to light quality signaling: Cytokinins: **Environmental and Experimental Botany**.v.84, p. 25-32, 2012.

LIMA JR., E. C.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; BARBOSA, J. P. R. A. D. Aspectos fisiológicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 33-41, 2006.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 672p.

MACHADO, A.F.L.; MEIRA, R.M.S.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; TUFFI SANTOS, L.D.; FIALHO, C.M.T.; MACHADO, M. Caracterização anatômica de folha, colmo e rizoma de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2008.

MATZRAFI, M.; GADRI, Y.; FRENKEL, E.; RUBIN, B.; PELEG, Z. Evolution of herbicide resistance mechanisms in grass weeds. **Plant Science**. v.229, p.43–52, 2014.

MCINTYRE, P. J.; STRAUSS, S.Y. Phenotypic and transgenerational plasticity promote local adaptation to sun and shade environments. **Evolutionary Ecology**, v. 28, n. 2, p. 229-246, 2014.

MENEZES, C. W. G.; SOARES, M. A.; SANTOS, J. B.; ASSIS JÚNIOR, S. L.; FONSECA, A. J. AND ZANUNCIO, J. C. Reproductive and toxicological impacts of herbicides used in Eucalyptus culture in Brazil on the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Weed Research (Print)** v. 52, n.6, p.520-525, 2012.

MONKS, P.L. FERREIRA, O. G. L.; PÓLO, E. A.; SILVA, J. B. Produção e qualidade de sementes de *Macroptilium lathyroides* (L.).Urb. sob diferentes espaçamentos e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.2, p.107-112, 2006.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; e SANTOS, C. T. D.; Glyphosate em mistura com herbicidas alternativos para o manejo de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.375-380, 2001.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; OSUNA, M. D. ; DE PRADO, R. A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e susceptíveis a estes herbicidas. **Planta Daninha**, v. 22, n.3, p. 123-132, 2004a.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; MATAS, J. A.; HEREDIA, A. Caracterização da superfície foliar e das ceras epicuticulares em *Commelina benghalensis*, *Ipomoea grandifolia* e *Amaranthus hybridus*. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.203-210, 2004b.

MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R.; BINHA, D. P.; SILVA, A. C. e SILVA, P. V. Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 403-409, 2008.

MORAES, Y. J. B. **FORAGEIRAS. Conceitos, formação e manejo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1995. 215 p.

MOREIRA, M. S. MELO, M.S.C.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; CRHISTOFFOLETI, P.J. Herbicidas alternativos para o controle de biótipos

de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 167-175, 2010.

NAKAZONO, E.M.; COSTA, M. C.; FUTATSUGI, K.; PAULILO, M. T. S. Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. em diferentes regimes de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, v.24, p.173-179. 2001.

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS, S. P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 33-46, 2008.

PUPO, N.I.H. **Manual de pastagens e forrageiras**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979.

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

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A.; MIRANDA, G. V.; FERREIRA, L. R. e TERRA, A. A. Misturas de herbicidas para o controle de plantas daninhas do gênero *Commelina*. **Planta Daninha**, v.20, n.2, p.311-318, 2002.

SANTOS, J. B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; VIVIAN, R., COSTA, M. D. e SILVA, A. F. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 683-691, 2005.

SANTOS, F. M.; VARGAS, L.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; AGOSTINETTO, D.; MARTIN, T. N.; RUCHEL, Q. e FERNANDO, J. A. Estádio de desenvolvimento e superfície foliar reduzem a eficiência de chlorimuron-ethyl e glyphosate em *Conyza sumatrensis*. **Planta Daninha**, v. 32, n.2, p. 361-375, 2014.

SANTOS JÚNIOR, A.; TUFFI SANTOS, L. D.; COSTA, G. A.; BARBOSA, E. A.; LEITE, G. L. D.; MACHADO, V. D.; CRUZ, L. R. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreado. **Planta Daninha**, v. 31, n.1, p. 213-221, 2013.

SILVA, J. F.; SILVA, J. F.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007a. 367 p.

SILVA, A. A.; VARGAS, L.; FERREIRA E. A.; Herbicidas: resistência de plantas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007b. 367 p.

SNACK, C. **Phaseolinae Benth. (Leguminosae, Papilionoideae, Phaseoleae) no Estado do Paraná**, Brasil. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Arned, 2009. 848 p.

TUFFI SANTOS, L. D.; IAREMA, L.; THADEO, M.; FERREIRA, F. A. e MEIRA, R. M. S. A. Características da epiderme foliar de eucalipto e seu envolvimento com a tolerância ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n.3, p. 513-520, 2006.

TUFFI SANTOS, L. D.; CARDOSO FILHO, O.; SANTOS JUNIOR, A.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; FELIX, R. C.; LEITE, F. P. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. **Planta Daninha**, v. 31, n.3, p. 491-499, 2013.

VALENTIN, J. F. Outras leguminosas forrageiras de importância econômica para a pecuária brasileira. In: FONSECA, D.M; MARTUSCELLO, J.A. (Eds.) **Plantas Forrageiras**. Viçosa: Ed. UFV, 2010. p.439-445.

VASCONCELOS, W. A. SANTOS, E. M.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, B. L. A. EDVAN, R. L.. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de figo de pombo (*Macroptilium lathyroides*). **Revista Trópica**, v.5, n.1, p.3-11, 2011.

WERLANG, R. C.; SILVA, A. A. Interação de glyphosate com carfentrazone-ethyl. **Planta Daninha**, v.20, n.1, p.93-102, 2002.

CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA DO USO ISOLADO OU COMBINADO DE DOIS HERBICIDAS NO CONTROLE DOSIRATRO (*Macroptilium atropurpureum*) SOB DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS

RESUMO

Plantas daninhas quando submetidas a ambientes com restrição luminosa apresentam mudanças nas características anatômicas e morfológicas. Conhecer essas modificações é fundamental para estabelecer estratégias de manejo de plantas daninhas como o siratro (*Macroptilium atropurpureum*) que, apesar de pouco estudada na literatura, tem sido relatada através de observações em campo como tolerante ao herbicida glyphosate. Objetivou-se avaliar a influência dos níveis de luminosidade e da aplicação de glyphosate e carfentrazone-ethyl, isolados ou em mistura, sobre a anatomia foliar e o controle do siratro. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento em blocos casualizados e cinco repetições, em esquema fatorial (3x4) sendo: três níveis de luminosidade (0, 50 e 70 % de sombra) e quatro combinações de doses dos herbicidas glyphosate + carfentrazone-ethyl (0; 0+40; 1080+30; 1440+0 g ha⁻¹). Foram avaliados a porcentagem de controle das plantas, aspectos anatômicos através de microscopia de luz e de varredura, após aplicação dos herbicidas, além de quantificada a cera epicuticular. Plantas de siratro cultivadas em ambiente sombreado mostraram-se mais sensíveis aos efeitos do glyphosate. A aplicação dos herbicidas glyphosate e carfentrazone-ethyl isolados não resultou em efeito satisfatório de controle das plantas mantidas a pleno sol. Entretanto, a combinação entre o carfentrazone-ethyl e o glyphosate foi favorável para o controle de siratro em todos os ambientes, confirmando o efeito aditivo da mistura. Plantas de siratro cultivadas a pleno sol apresentam maior densidade de tricomas e deposição de ceras nas folhas. O sombreamento imposto ao cultivo dessa planta daninha ocasionou redução na espessura do limbo foliar e na deposição de ceras quando comparado a plantas cultivadas a pleno sol. Os herbicidas quando em contato com os tricomas promovem a perda do turgor dessa estrutura. O controle químico com o herbicida glyphosate é eficiente somente em condições de restrição luminosa e em pleno sol com adição de carfentrazone-ethyl. A plasticidade fenotípica na morfoanatomia foliar imposta pela restrição luminosa favoreceu a absorção e translocação dos herbicidas, tornando-as menos tolerantes as moléculas de glyphosate e carfentrazone-ethyl.

Palavras-chave: anatomia vegetal, ceras epicuticulares, leguminosa, mistura de herbicidas, sombreamento

**CHAPTER 2: ISOLATED USE EFFICIENCY OR COMBINED OF TWO
HERBICIDES IN THE SIRATRO CONTROL (*Macroptilium atropurpureum*)
UNDER DIFFERENT LIGHT INTENSITIES**

ABSTRACT

Weeds when subjected to environments with light restrictions show changes in the anatomical and morphological characteristics. Knowing these changes is essential to establish management strategies weed as siratro (*Macroptilium atropurpureum*) which, although little studied in the literature, has been reported by field observations as tolerant to the glyphosate herbicide. The objective was to evaluate the influence of light levels and the application of glyphosate and carfentrazone-ethyl, individually or in combination, on the leaf anatomy and the control of the siratro. The trial was conducted in a greenhouse with randomized block design and five replications, in a factorial scheme (3x4) being: three brightness levels (0, 50 and 70 % of shade) and four combinations of doses of glyphosate herbicides + carfentrazone-ethyl (0; 0+40; 1080+30; 1440+0 g ha⁻¹). They were evaluated the percentage control of the plants, anatomical aspects through light and scanning microscopy after herbicide application, besides the quantified the epicuticular wax. Siratro plants cultivated under shade environment were more sensitive to glyphosate's effects. The application of glyphosate and the carfentrazone-ethyl isolated herbicides + did not result in satisfactory effect control of plants kept in full sun. However, the combination between the carfentrazone-ethyl and the glyphosate was favorable for siratro control in all environments, confirming the additive effect of the mixture. Siratro plants cultivated in full sun have a higher density of trichomes and deposition of wax on the leaves. The shading imposed to the cultivation of this plant decreased in the leaf blade thickness and deposition of wax compared to plants grown in full sun. The herbicides when in contact with the trichomes promote the loss of turgor of this structure. The chemical control with glyphosate herbicide is effective only in light conditions and restriction in full sun with added carfentrazone-ethyl. The phenotypic plasticity in the leaf morphoanatomy restriction imposed by the luminous favored the absorption and translocation of the herbicides, turning them less tolerant to glyphosate molecules and carfentrazone-ethyl.

Keywords: plant anatomy, the waxes, legumes, herbicide mixture, shading.

1 INTRODUÇÃO

Os mecanismos de tolerância e resistência de plantas sobre a ação de herbicidas em condições ambientais diversificadas são fundamentais para estabelecer estratégias de manejo para plantas daninhas. A micromorfologia foliar pode gerar subsídios pela análise da plasticidade fenotípica da planta seja pela restrição luminosa (LIMA JR *et al.*, 2006) e ou estresse causado pelo controle químico (TUFFI SANTOS *et al.*, 2009).

As modificações nas folhas para adaptação às diferentes condições de luminosidade é característica comum das espécies com potencial de aclimação (ALMEIDA *et al.*, 2005). Plantas cultivadas em ambiente sombreado tendem a apresentar maior plasticidade anatômica da lâmina foliar e além de alterações nas características fisiológicas e de alocação dos fotoassimilados nos órgãos do vegetal (GONDIM *et al.*, 2008).

Variações na densidade de tricomas, na composição químico-estrutural da cera epicuticular e na densidade de estômatos provocadas pelo ambiente, podem ser fatores limitantes à penetração dos herbicidas na epiderme e, conseqüentemente, pode se reduzir os danos provocados nas plantas (PROCÓPIO *et al.*, 2003). Tais alterações fenotípicas dessa natureza têm ocasionado o aumento na susceptibilidade de espécies cultivadas sob restrição luminosa ao glyphosate, conforme observado por Santos Junior *et al.* (2013) em *Commelina benghalensis* e *Cyperus rotundus*.

As condições ambientais aliadas ao uso frequente do mesmo herbicida também podem favorecer a seleção de indivíduos tolerantes e/ou resistentes a um ou mais mecanismos de ação herbicida (TUFFI SANTOS *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2015). As misturas de herbicidas com mecanismo de ação, diferenciados e sinérgicos, é estratégia interessante para aumento do espectro de ação e eficiência do controle químico (CARVALHO *et al.*, 2010; BRAZ *et al.*, 2013).

O siratro (*Macroptilium atropurpureum*) é uma leguminosa perene, que, apesar de pouco estudada na literatura, tanto do ponto de vista de sua plasticidade fenotípica quanto de sua susceptibilidade ao controle químico, tem sido relatada a partir de observações em campo como tolerante ao herbicida glyphosate. Assim, pode tornar-se sério problema, principalmente

em monocultivos resistentes ao glyphosate e que não utilizam outro herbicida para o manejo de plantas daninhas (CONCENÇO *et al.*, 2012).

Dessa forma, estabelecer o controle mais adequado a partir de fatores relacionados à disponibilidade de luz e combinações entre herbicidas com diferentes mecanismos de ação como o glyphosate e o carfentrazone-ethyl são imprescindíveis para o manejo dessa espécie.

O presente trabalho descreve parâmetros morfoanatômicos de *M. atropurpureum* sob diferentes intensidades luminosas e os relaciona com a eficiência do uso dos herbicidas glyphosate e carfentrazone-ethyl, isolados ou em mistura para: (1) caracterizar as alterações morfoanatômicas causadas pelo sombreamento; (2) verificar se o sombreamento reduzirá a tolerância da espécie; (3) estabelecer se o uso dos herbicidas combinados é mais eficiente no controle da espécie do que quando usados de forma isolada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG) entre os meses de fevereiro a maio de 2014, no município de Montes Claros – MG, 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 de savana (KÖPPEN, 1948). Os dados climáticos referentes ao período de experimento são apresentados no Gráfico 1

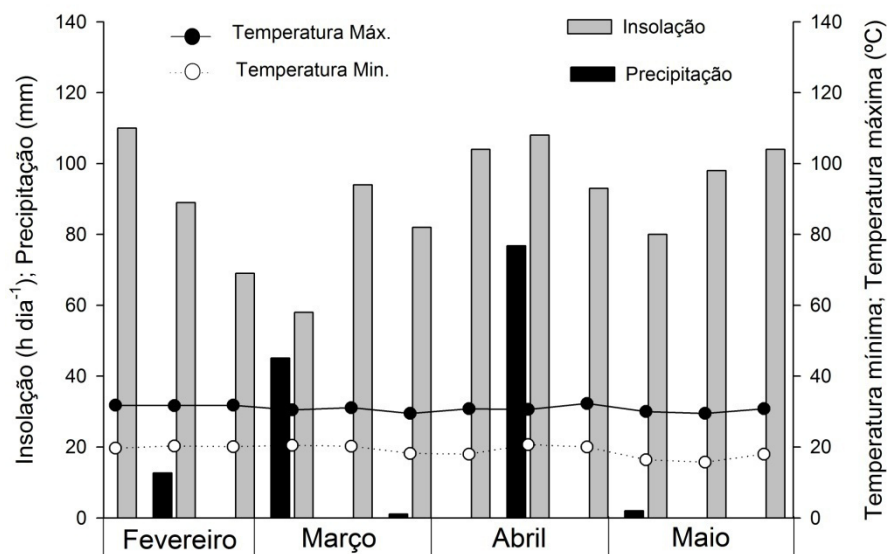


GRÁFICO 1. Médias decendiais de insolação (h dia⁻¹), precipitação (mm) e temperatura mínima e máxima (°C) referente aos meses de fevereiro a maio de 2014, Montes Claros – MG.
Fonte: INMET, 2014.

Sementes de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) foram coletadas a campo no ICA/UFMG e semeadas em bandejas de isopor de 128 células contendo substrato comercial a base de fibra e pó de coco, casca de pinus, vermiculita, casca de arroz e nutrientes.

Após 30 dias de cultivo em bandejas, selecionou-se as mudas mais desenvolvidas e uniformes que foram plantadas em vasos de 12

dm³ contendo solo da primeira camada arável que apresentava em sua constituição pH (água) de 4,7; teor de matéria orgânica de 2,37 dag kg⁻¹; P de 0,47 mg dm⁻³; K de 35 mg dm⁻³; Ca de 0,20 cmol_c dm⁻³; Mg 0,10 cmol_c dm⁻³; Al de 0,60 cmol_c dm⁻³; H+Al 2,90 cmol_c dm⁻³; CTC_{efetiva} de 0,99 cmol_c dm⁻³. Para fertilização do substrato utilizou-se superfosfato simples, cloreto de potássio e uréia, conforme recomendação de Cantarutti *et al.* (2007).

Com a finalidade de suprir as demandas de macro e micronutrientes essas plantas foram adubadas com fertilizante mineral foliar nutrigarden[®], quinzenalmente, durante todo o período de cultivo. A umidade do solo foi mantida próximo da capacidade de campo por meio de irrigações realizadas duas vezes ao dia. O ensaio foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com 5 repetições, em esquema fatorial com 3 níveis de luminosidade (0, 50 e 70 % de sombra) e quatro doses de herbicidas combinados ou não (Tabela 1). A interceptação luminosa foi obtida a partir de sombrites de polipropileno na cor preta. Foram realizadas 10 medições pontuais em cada ambiente com aparelho AccuPAR Linear PAR/LAI ceptometer, Model - LP 80 (Decagon Devices), obtendo se médias de 1170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ambiente de pleno sol, 580 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ambiente com 50 % de sombra e de 406 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ambiente com 70 % de sombreamento.

TABELA 1

Herbicidas e doses utilizadas no controle químico do siratro	
HERBICIDAS	DOSES (g ha ⁻¹)
Testemunha	0
Carfentrazone-ethyl*	40
Glyphosate + carfentrazone-ethyl	1080+30
Glyphosate ¹	1440

Fonte: Do autor.

Nota: Produtos comerciais: *SPOTLIGHT[®]; ¹ROUNDUP ORIGINAL[®].

Aos 45 dias após o plantio em vaso (estádio de pré florescimento) as plantas receberam os herbicidas por meio de pulverizador costal equipado com barra possuindo ponta modelo Teejet AI110015 e válvula reguladora de pressão constante a 150 KPa, com o volume de 100 L ha⁻¹ de calda.

2.1 Análises anatômicas

2.1.1 Microscopia de luz

Amostras da região mediana da 3ª e 4ª folha completamente expandida a partir do ápice foram coletadas 24 e 48 horas após a aplicação dos herbicidas e fixadas em solução de Karnovsky (KARNOVSKY, 1965). Os fragmentos foram desidratados em série etílica crescente e incluídos em resina acrílica. Cortes transversais com aproximadamente 5 μm de espessura foram obtidos em micrótomo rotativo manual e corados em azul de Toluidina pH=4,0 (O'BRIAN e McCULLY, 1981). Após montagem em Permount®, o laminário histológico foi analisado em microscópio de Luz (modelo Primo Star, marca Zeiss), sendo as imagens capturadas com câmera digital acoplada (modelo AxioCam ERc5s, marca Zeiss). As imagens foram analisadas no software Image-Pro Plus Versão 4.1, onde foram mensuradas as alturas do parênquima paliádico, parênquima lacunoso, face adaxial e abaxial da epiderme e a espessura do limbo foliar totalizando 12 medições por parcela.

2.1.2 Microscopia de varredura

Para as análises em microscopia eletrônica de varredura, foram coletados, 24 e 48 horas após a aplicação dos herbicidas, 3 fragmentos da região mediana de cada parcela experimental em folhas totalmente expandidas. As amostras foram fixadas em solução de Karnovsky (KARNOVSKY, 1965) e posteriormente desidratadas em série etílica crescente. Posteriormente, os fragmentos foram montados em “stubs”, secos ao ponto crítico (modelo Balzers CPD 030), tendo como meio de secagem o CO₂, metalizados com ouro (metalizador Balzers SCD 050) e analisados em microscópio eletrônico de varredura (modelo LEO 435-VP), sendo as imagens capturadas digitalmente.

Para as avaliações de densidade de tricomas, foram analisadas 10 repetições de cada intensidade luminosa a partir das imagens obtidas na microscopia de varredura. Para isso utilizou-se o software Image-Pro Plus

Versão 4.1 onde através de área predefinida ($0,05 \text{ mm}^{-2}$) estimou-se o número de tricomas.

2.2 Quantificação de cera epicuticular

Aos 45 dias após plantio em vaso, imediatamente antes da aplicação dos herbicidas, folhas completamente expandidas foram coletadas do terço superior, sendo estas digitalizadas por meio de scanner e as imagens usadas para determinação da área foliar através do programa Image-Pro Plus[®]. Posteriormente as amostras coletadas foram introduzidas em placa de petri contendo 100 mL de clorofórmio durante 20 segundos em agitação leve. Em seguida o extrato obtido (cera mais clorofórmio) foi filtrado em papel filtro e transferido para um tubo de ensaio de 25 mL, de peso conhecido e colocado em banho-maria até completa evaporação do clorofórmio. O resíduo sólido (cera) aderido à parede do tubo foi então quantificado para obtenção desse por unidade de área foliar ($\mu\text{g cm}^{-2}$).

2.3 Avaliações de eficiência de controle

Foram realizadas avaliações visuais de controle aos 4, 16 e 28 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas, adotando-se a escala de 0 a 100 %, onde 0 corresponde a inexistência de efeitos tóxicos provocados pelo o herbicida e 100 % a morte total dos tecidos vegetais (ALAM,1974).

2.4 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância e quando significativos ao teste de média Tukey a 5 % de probabilidade de erro utilizando o programa de análises estatísticas SAEG, na versão 9.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Plantas de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetidas à aplicação isolada de glyphosate não foram controladas de forma satisfatória a pleno sol, com médias inferiores a 47 % de controle avaliado aos 28 DAA. Entretanto, plantas alocadas em ambientes sombreados atingiram controle superior a 96 % aos 28 DAA. Assim, nas condições experimentais deste trabalho, comprova-se os relatos de campo sobre a tolerância dessa espécie ao herbicida glyphosate em pleno sol. Adicionalmente verificou-se a susceptibilidade do siratro ao glyphosate em ambiente sombreado (Tabela 2).

A aplicação isolada de carfentrazone-ethyl não ocasionou controle eficiente em nenhuma das situações de cultivo do siratro (Tabela 2). A adição desse herbicida em mistura ao glyphosate potencializou o controle do siratro nos ambientes a pleno sol, quando comparado a aplicação isolada desse último produto. Entretanto, esse efeito não é observado para plantas cultivadas sob sombreamento (Tabela 2).

A mistura entre os herbicidas glyphosate e carfentrazone-ethyl, promoveu controle do siratro aos 4 DAA em relação aos herbicidas aplicados de forma isolada. Em ambientes sombreados, a combinação desses herbicidas proporcionou controle das plantas em valores superiores a 91 % aos 16 DAA. Entretanto em ambiente sem restrição luminosa o controle do siratro mais eficiente foi obtido através da combinação desses herbicidas aos 28 DAA (Tabela 2). *Commelina benghalensis* e *Cyperus rotundus* cultivadas em ambientes com 30 e 50 % de sombreamento apresentaram maior susceptibilidade ao glyphosate com possibilidade de redução de até 25 % na dose de recomendada de glyphosate para controle dessas espécies (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2013).

TABELA 2

Controle (%) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, em função da intensidade luminosa 4, 16 e 28 dias após aplicação (DAA).

4 DAA			
Intensidade luminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha ⁻¹)		
	0+40	1080+30	1440+0
Pleno sol	30,37 Bb	80,00 Aa	4,39 Bc
50 % de sombra	38,07 Ab	83,00 Aa	18,53 Ac
70 % de sombra	32,33 Bb	64,67 Ba	17,27 Ac
CV (%): 9,3			
16 DAA			
Intensidade luminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha ⁻¹)		
	0+40	1080+30	1440+0
Pleno sol	31,33 Cb	85,33 Ba	11,00 Bc
50 % de sombra	58,26 Ab	95,00 Aa	95,67 Aa
70 % de sombra	42,67 Bb	91,33 Aa	96,67 Aa
CV (%): 7,5			
28 DAA			
Intensidade luminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha ⁻¹)		
	0+40	1080+30	1440+0
Pleno sol	31,00 Bc	79,00 Ca	46,00 Bb
50 % de sombra	40,00 Ab	97,00 Aa	97,00 Aa
70 % de sombra	42,00 Ac	89,00 Bb	99,00 Aa
CV (%): 9,7			

Fonte: Do autor.

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Os mecanismos estabelecidos por essa leguminosa para se manter tolerante ao herbicida glyphosate no ambiente de pleno sol pode ser os mesmos observados na espécie *Mucuna pruriens* var. *utilis* em que a absorção e translocação limitada para tecidos meristemáticos são os fatores que conferem a tolerância (DELGADO *et al.*, 2012).

A combinação entre herbicidas tende a proporcionar efeito aditivo no controle de diversas plantas daninhas. Provavelmente tal efeito está associado ao fato do carfentrazone-ethyl facilitar o deslocamento das moléculas de glyphosate por entre as células e permitir maior captura desses herbicidas no interior dos tecidos (WERLANG; SILVA, 2002). O uso desses herbicidas em mistura é alternativa viável no manejo de diversas espécies como *Commelina* spp. (ROCHA *et al.*, 2007), *Ipomoea grandifolia* (MACIEL *et al.*, 2011), *Conyza* spp. (MOREIRA *et al.*, 2010) dentre outras.

A quantidade de ceras epicuticulares em folhas de siratro foi muito superior em indivíduos cultivados a pleno sol (Gráfico 2), o que pode estar relacionado a maior tolerância dos indivíduos nesse ambiente (Tabela 2). Na literatura a deposição das ceras nos órgãos vegetais está associada à proteção contra a perda excessiva de água (TAIZ; ZEIGER, 2009) que naturalmente é menor em ambientes sombreados. Assim como no siratro, em outras espécies a maior deposição de cera está associada a maior incidência luminosa (VIANA *et al.*, 2010; BOUTIN *et al.*, 2012; RAZEQ *et al.*, 2014).

A composição química da cera e sua quantidade podem permitir que mesma atue como barreira à entrada dos herbicidas aplicados isoladamente. Em *Commelina benghalensis* a elevada quantidade de hidrocarbonetos presentes na cera epicuticular dessa espécie pode ser um dos principais mecanismos para impedir a penetração dos herbicidas e promover a tolerância (MONQUERO *et al.*, 2004).

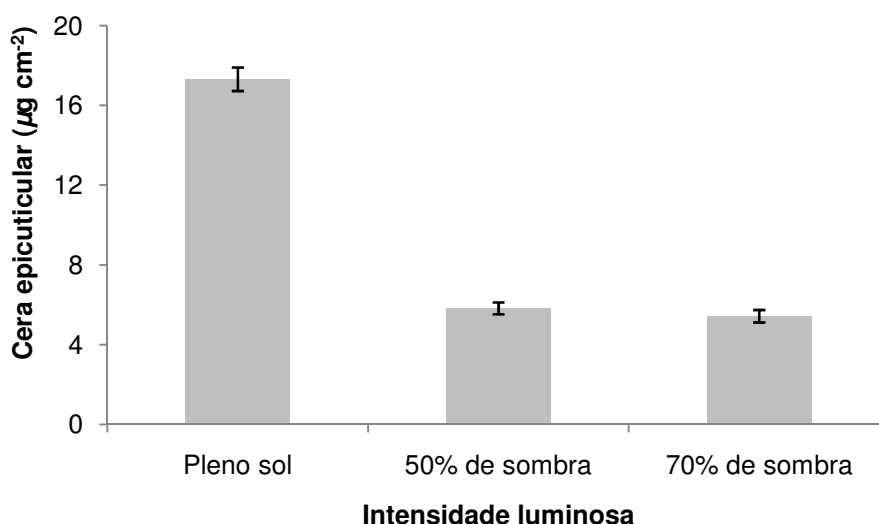


GRÁFICO 2. Cera epicuticular ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de folhas de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) em função de diferentes intensidades luminosas. As barras representam o desvio padrão.

Fonte: Do autor.

O carfentrazone-ethyl aplicado isoladamente promoveu derretimento da cera epicuticular, ruptura da cutícula e perda de turgor da célula basal dos tricomas, independente da disponibilidade luminosa (Figura 1). Entretanto,

plantas alocadas em pleno sol e que receberam apenas glyphosate não apresentaram danos (Figura 1).

Quando cultivado em ambiente de pleno sol as plantas de siratro apresentaram maior densidade de tricomas na face abaxial e adaxial em relação às plantas sombreadas (Figura 2) e (Tabela 3).

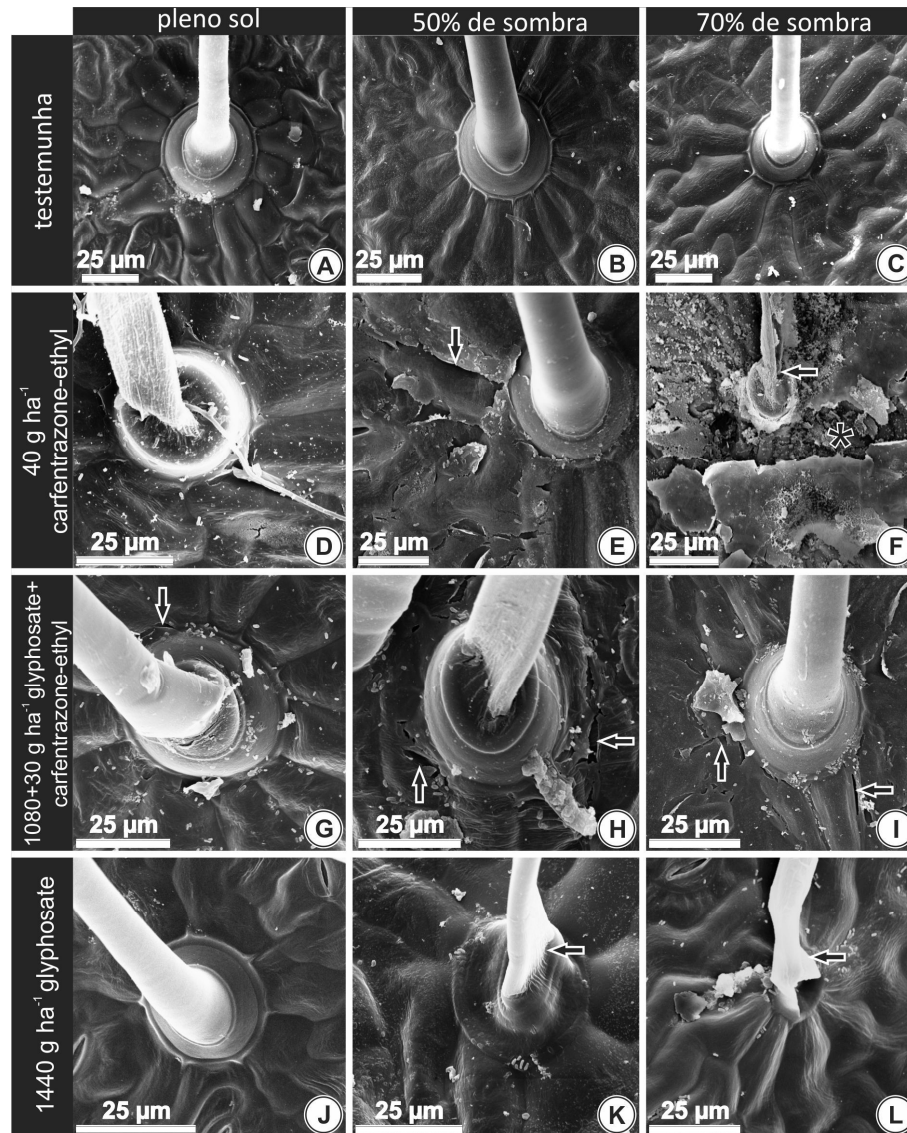


FIGURA 1. Danos causados pelos herbicidas, isolados ou em mistura, na face adaxial da epiderme de siratro (*Macroptilium atropurpureum*), 24 horas após aplicação dos herbicidas. (A); (B) e (C): detalhe dos tricomas nos diferentes ambientes, (D): perda do turgor do tricoma. (E); (G); (H); (I); as setas indicam ruptura da cutícula, (K); (L) setas indicam perda da turgescência da base do tricoma, (F); seta indica redução do turgor do tricoma e asterisco indica ruptura da cutícula.

Fonte: Do autor.

TABELA 3

Densidade de tricomas (mm^{-2}) na face abaxial e adaxial da epiderme em siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, sob diferentes intensidades luminosas.

Intensidade luminosa	Densidade de tricomas mm^{-2}	
	Epiderme	
	Abaxial	Adaxial
Pleno sol	44, 17 ^a	23,61 A
50 % de sombra	24,42 B	15,72 B
70 % de sombra	23,22 B	13,93 B
CV(%)	16,00	8,83

Fonte: Do autor.

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Os mecanismos envolvidos na interceptação e translocação dos herbicidas até as células da epiderme ainda são pouco esclarecidos pela literatura (GALVAN *et al.*, 2012). Porém, a maior sensibilidade a herbicidas pode estar associada a menor densidade de tricomas e estômatos das faces abaxial e adaxial das folhas (FERREIRA *et al.*, 2007).

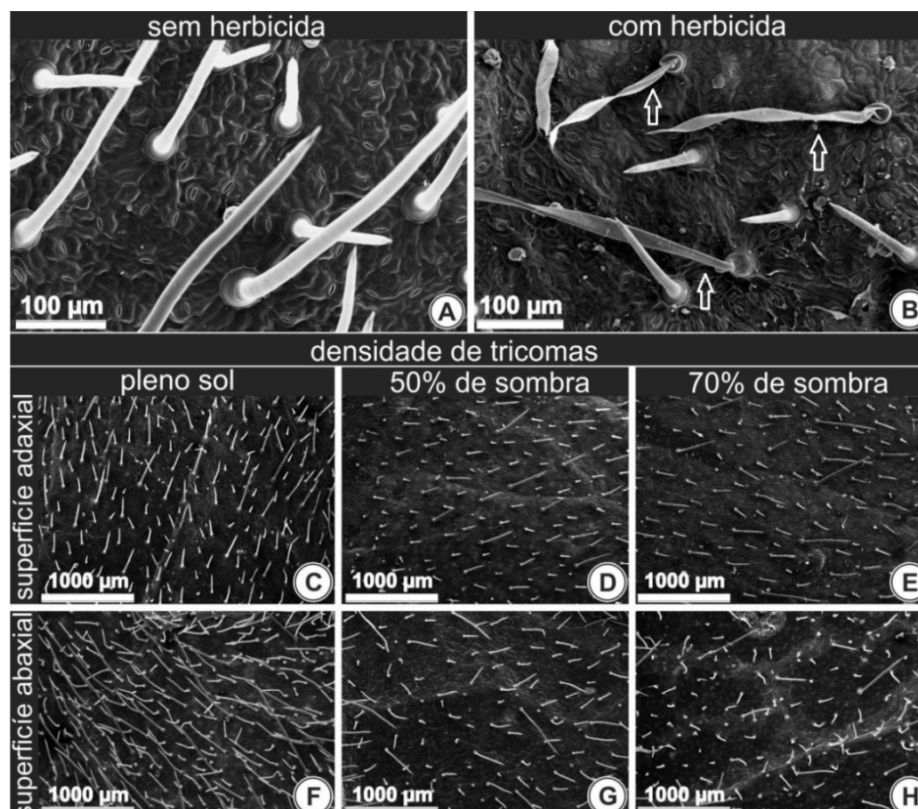


FIGURA 2. Epiderme na face adaxial e abaxial de folhas de siratro (*Macroptilium atropurpureum*). (A): disposição dos tricomas sem aplicação dos herbicidas e (B) após aplicação dos herbicidas onde as setas indicam perda do turgor. (C) e (F); densidade de tricomas elevada em relação a (D); (E); (G) e (H).

Fonte: Do autor.

A altura do parênquima paliçádico foi influenciada pela interação entre o ambiente de cultivo e as doses de herbicidas, com maiores valores observados nas plantas mantidas em pleno sol 24 e 48 horas após aplicação (Tabela 4). Plantas mantidas a 50 e 70 % de sombreamento não apresentaram diferença significativa entre si na espessura do parênquima paliçádico, independente do herbicida aplicado (Tabela 4).

Os ambientes sombreados promoveram maior redução na altura do parênquima lacunoso, parênquima paliçádico e espessura do limbo foliar em folhas de *M. atropurpureum* (Tabela 5).

TABELA 4

Espessura (μm) do parênquima paliçádico (PP) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, em função da intensidade luminosa aos 24 e 48 horas após aplicação (HAA).

24 HAA				
Intensidade luminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha ⁻¹)			
	0+0	0 + 40	1080 + 30	1440 + 0
Pleno sol	103,15 Abc	85,91 Ac	120,88 Aab	140,41 Aa
50 % de sombra	56,09 Ba	61,48 Aa	69,26 Ba	67,44 B a
70 % de sombra	39,73 Ba	60,22 Aa	68,05 Ba	48,63 Ba
CV (%): 24,51				
48 HAA				
Intensidade luminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha ⁻¹)			
	0+0	0 + 40	1080+30	1440+0
Pleno sol	103,15Aab	85,52 Ab	140,84 Aa	136,51Aa
50 % de sombra	56,09 Ba	70,71 Aa	73,02 Ba	61,67Ba
70 % de sombra	39,73Ba	59,55 Aa	102,38 Ba	40,31 Ba
CV (%): 22,68				

Fonte: Do autor

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

TABELA 5

Espessura (μm) da epiderme na face adaxial (EAD), parênquima lacunoso (PL), epiderme na face abaxial (EAB), e total do limbo foliar (ET) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a diferentes ambientes aos 24 e 48 horas após a aplicação (HAA).

24 HAA				
Intensidade luminosa	Espessura (μm)			
	EAD	PL	EAB	ET
Pleno sol	16,77 ^{ns}	93,26 A	12,67 ^{ns}	235,28 A
50 % de sombra	15,57 ^{ns}	65,4B	11,34 ^{ns}	155,87 B
70 % de sombra	14,85 ^{ns}	58,06 B	11,91 ^{ns}	138,98 B
CV(%)	19,55	26,68	18,98	18,83
48 HAA				
Intensidade luminosa	Espessura (μm)			
	EAD	PL	EAB	ET
Pleno sol	16,62 ^{ns}	90,97 A	12,06 A	236,15 A
50 % de sombra	15,82 ^{ns}	67,45 B	11,4 B	160,04 B
70 % de sombra	15,91 ^{ns}	61,32 B	12,71 B	150,43 B
CV(%)	19,04	29,53	14,67	15,42

Fonte: Do autor

Nota: ^{ns} (não significativo). Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em ambientes sombreados as plantas tendem a apresentar modificações na espessura das folhas (GONDIM *et al.*, 2008; LIMA JR. *et al.*, 2006). A maior espessura da epiderme e dos parênquimas pode limitar a penetração e translocação de herbicidas aplicados sobre as folhas conferindo maior tolerância as plantas (COSTA *et al.*, 2010).

As avaliações de microscopia (SANTOS *et al.*, 2015) e a quantificação de ceras epicuticulares são fundamentais para identificar a ação dos herbicidas sobre a superfície foliar bem como os eventuais efeitos no controle (GUIMARÃES *et al.*, 2009; VIANA *et al.*, 2010). Entretanto identificar a composição química das ceras pode contribuir ainda mais para o estabelecimento de estratégias de manejo mais adequadas para o siratro.

4 CONCLUSÕES

O controle químico do siratro com glyphosate é eficiente somente em condições de restrição luminosa e em pleno sol com adição de carfentrazone-ethyl.

A plasticidade fenotípica na morfoanatomia foliar do siratro e a redução na deposição de ceras epicuticulares imposta pela restrição luminosa favoreceram o controle pelos herbicidas glyphosate e carfentrazone-ethyl.

REFERÊNCIAS

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, S. M. Z.; SOARES, A. M.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; GAJEGO, E. B. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural** v.35, p.62-68, 2005.

BOUTIN, C.; AYA, K. L.; CARPENTER, D.; THOMAS, P. J.; ROWLAND, O. Phytotoxicity testing for herbicide regulation: Shortcomings in relation to biodiversity and ecosystem services in agrarian systems. **Science of the Total Environment** v.415, p.79–92, 2012.

BRAZ, G. B. P.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A. M.; DAN, H. A.; GUERRA, N.; OSIPE, J. B.; TAKANO, H. K. Alternativas para o controle de soja RR® voluntária na cultura do algodoeiro. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 360-369, 2013.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; EMILIA, H.; MARTINEZ, P.; NOVAIS, R. F. XXI Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In:NOVAIS, R. F. ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa: SBCS, 2007, p. 1017.

CARVALHO, F. T.; CASTRO, R. M.; OTSUBO, R. I.; PEREIRA, F.A.R. Controle de dez espécies daninhas em cana-de-açúcar com o herbicida mesotrione em mistura com ametryn e metribuzin. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 585-590, 2010.

COSTA, N. V.; MARTINS, D.; RODELLA, R. A.; RODRIGUES, A. C. P. CARDOSO, L. A. Efeito do trinexapac-ethyl na anatomia foliar de quatro espécies de grama. **Planta Daninha** v.28, n.3, 2010.

DELGADO, A. M. R; HIPOLITO, H. C.;PRADO, R. CASTRO, M. D. L.; FRANCO, A. R. Limited uptake, translocation and enhanced metabolic degradation contribute to glyphosate tolerance in *Mucuna pruriens* var. *utilis* plants. **Phytochemistry**. v. 73, p.34-41, 2012.

FERREIRA, E. A. VENTRELLA, M. C.; SANTOS, J. B.; BARBOSA, M. H. P.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, E. A. M. Leaf blade quantitative anatomy of sugarcane cultivars and clones. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 25-34, 2007.

GALVAN, J; RIZZARDI, M. A.; CARNEIRO, C. M.; BIANCHI, M. A. Anatomia foliar de *Lolium multiflorum* sensível e resistente ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 407-413, 2012.

GONDIM, A. R. O.; PUIATTI, M.; VENTRELLA, M. C.; CECON, P. R. Plasticidade anatômica da folha de taro cultivado sob diferentes condições de sombreamento. **Bragantia**, v.67, p.1037-1045, 2008.

GUIMARÃES, A. A.; FERREIRA, E. A.; VARGAS, L.; SILVA, A. A.; VIANA, R. G.; DEMUNER, A. J.; CONCENÇO, G.; ASPIAZU, I.; GALON, L.; REIS, M. R.; SILVA, A. F. Composição química da cera epicuticular de biótipos de azevém resistente e suscetível ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 149-154, 2009.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **5º Distrito de Meteorologia de Montes Claros**. 2014.

KARNOVSKY, M. J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, v. 27, p.137-138,1965.

KOPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

LIMA JR., E. C.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; BARBOSA, J. P. R. A. D. Aspectos fisioanatômicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 33-41, 2006.

MACIEL, C. D. G.; NETO, Antonio M. O.; GUERRA, N.; JUSTINIANO, W. Eficiência e qualidade da aplicação de misturas em tanque com adjuvantes na dessecação de corda-de-viola. **Engenharia Agrícola**. 2011, vol.31, n.4, p. 704-715.

MONQUERO, P. A. CHRISTOFFOLETI, P. J.; MATAS, J. A. e HEREDIA, A. Caracterização da superfície foliar e das ceras epicuticulares em *Commelina benghalensis*, *Ipomoea grandifolia* e *Amaranthus hybridus*. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 203-210, 2004.

MOREIRA, M.S.; MELO, M.S.C.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; CRHISTOFFOLETI, P.J. Herbicidas alternativos para controle de biótipos de *Coryza bonariensis* e *C. canadensis* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, 2010.

O'BRIAN, P.P., McCULLY, M.E. 1981. **The study of plants structure principles and select methods**. Termarcaphi Pty. Ltda, Melbourne-Australua. 45p.

PROCÓPIO, S. O. FERREIRA, E. A.; SILVA, E. A. M.; SILVA, A. A.; RUFINO, R. J. N.; SANTOS, J. B. 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**, v. 21, n. 1, p. 1-9, 2003.

RAZEQ, F. M.; KOSMA, D. K.; ROWLAND, O.; MOLINA, I. Extracellular lipids of *Camelina sativa*: Characterization of chloroform-extractable waxes from aerial and subterranean surfaces. **Phytochemistry** v.106, p.188–196, 2014.

ROCHA, D. C.; RODELLA, R. A.; MARTINS, D.; MACIEL, C. D. G. Efeito de herbicidas sobre quatro espécies de trapoeraba. **Planta Daninha**, v.25, p. 359-364, 2007.

SANTOS, S.A.; TUFFI SANTOS, L. D.; SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; TANAKA, F. A. O.; SILVA, L. F.; SANTOS JUNIOR, A. 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.

SANTOS JÚNIOR, A.; TUFFI SANTOS, L. D.; COSTA, G. A.; BARBOSA, E. A.; LEITE, G. L. D.; MACHADO, V. D.; CRUZ, L. R. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreado. **Planta Daninha**, v. 31, p. 213-221, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Arned, 2009. 848 p.

TUFFI SANTOS, L. D.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; MEIRA, R. M. S. A.; FERREIRA, F. A.; TIBURCIO, R. A. S. T.; SILVA, E. C. F. Micromorfologia foliar na análise da fitotoxidez por glyphosate em *Eucalyptus grandis*. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, 2009.

TUFFI SANTOS, L.D.; CARDOSO FILHO, O.; SANTOS JUNIOR, A.; SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; FELIX, R. C.; LEITE, F. P. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. **Planta Daninha**, v. 31, p. 491-499, 2013.

VIANA, R. G.; TUFFI SANTOS, L. D.; DEMUNER, A. J.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, E. A.; MACHADO, A. F. L.; SANTOS, M. V. Quantificação e composição química de cera epicuticular de folhas de eucalipto. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 753-758, 2010.

WERLANG, R. C.; SILVA, A. A. Interação de glyphosate com carfentrazone-ethyl. **Planta Daninha**, v.20, n.1, 2002.

CAPITULO 3: FISILOGIA DE SIRATRO (*Macroptilium atropurpureum*) APÓS APLICAÇÕES DE GLYPHOSATE E CARFENTRAZONE-ETHYL EM DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS

RESUMO

O siratro é uma leguminosa que apresenta elevada capacidade de produção de sementes, crescimento volúvel e alto vigor, o que, aliado a provável tolerância ao glyphosate, a torna um problema como planta daninha. Entender o comportamento fisiológico do siratro e a influência que a luminosidade exerce sobre essa espécie, pode ser medida fundamental para estabelecer o seu manejo em áreas de cultivo. Objetivou-se avaliar a influência da intensidade luminosa e da aplicação isolada ou em mistura de glyphosate e carfentrazone-ethyl, sobre as características fisiológicas do siratro. O delineamento adotado foi o de blocos casualizados com 5 repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 3x4, sendo diferentes níveis de luminosidade (0 ou pleno sol, 50 e 70% de sombra) e dois herbicidas combinados ou não, dispostos em: 40 g ha⁻¹ de carfentrazone-ethyl, 1440 g ha⁻¹ de glyphosate, 1080+30 g ha⁻¹ de glyphosate + carfentrazone-ethyl e testemunha. As avaliações fisiológicas foram realizadas 2 e 6 dias após aplicação dos herbicidas onde foram estimados: carbono interno (Ci), taxa fotossintética(A), condutância estomática ao vapor de água (Gs), taxa transpiratória foliar (E), além de calculada a eficiência no uso da água (EUA). Avaliou-se também a biomassa seca da parte aérea das plantas e a área foliar. O sombreamento promoveu reduções na condutância estomática e na eficiência no uso da água. A combinação de glyphosate e carfentrazone-ethyl promoveu redução na condutância estomática, eficiência do uso da água e carbono interno das folhas. A interação do sombreamento com os herbicidas promoveu reduções na taxa fotossintética e eficiência no uso da água. A biomassa seca da parte aérea sofreu reduções a partir da interação entre os ambientes e as doses dos herbicidas. Entretanto em aplicações isoladas do carfentrazone-ethyl a biomassa se manteve com valores próximos a testemunha em pleno sol. A redução no acúmulo de massa seca pelas plantas de siratro em ambiente sombreado justifica-se pela menor eficiência fotossintética e nos demais parâmetros fisiológicos bem como a potencialização do efeito herbicida do glyphosate, carfentrazone-ethyl e glyphosate + carfentrazone-ethyl sob restrição luminosa.

Palavras-chave: taxa fotossintética, condutância estomática, eficiência no uso da água, sombreamento.

**CHAPTER 3: THE SIRATRO PHYSIOLOGY (*Macroptilium atropurpureum*)
AFTER GLYPHOSATE AND CARFENTRAZONE-ETHYL APPLICATIONS
IN DIFFERENT LIGHT INTENSITIES**

ABSTRACT

The siratro is a legume that presents high seed production capacity, volatile growth and high vigor, which, combined with the probable tolerance to glyphosate, makes it a problem as weeds. Understanding the physiological behavior of the siratro and the influence that light has on the species; it can be fundamental measure to establish its management in growing areas. The objective was to evaluate the influence of light intensity and of the standalone application or as a mixture of glyphosate and carfentrazone-ethyl on the physiological characteristics of siratro. The study design was a randomized blocks with 5 repetitions. The treatments were arranged in a 3x4 factorial design, with different brightness levels (0 or full sun, 50 and 70% of shade) and two combined or not herbicides, arranged in: 40 g ha⁻¹ of carfentrazone-ethyl, 1440 g ha⁻¹ of glyphosate, 1080+30 g ha⁻¹ of glyphosate + carfentrazone-ethyl and witness. The physiological assessments were made 2 to 6 days after herbicide application where they were estimated: internal carbon (Ci), photosynthetic rate (A), stomatal conductance to water vapor (Gs), leaf transpiration rate (E), besides calculated efficient use of water (USA). It also evaluated the dry weight of the shoots and leaf area. The shading promoted reductions in stomatal conductance and efficiency in water use. The combination of glyphosate and carfentrazone-ethyl promoted a reduction in stomatal conductance, water use and internal carbon leaves efficiency. The interaction of the shading with herbicides promoted reductions in photosynthetic rate and efficiency in water use. The dry biomass of shoots suffered cuts from the interaction between environments and doses of herbicides. However, in isolated applications of carfentrazone-ethyl biomass remained with values close to witness in full sun. The reduction in the dry matter accumulation by plants of siratro in shaded environment is justified by the lower photosynthetic efficiency and on the other physiological parameters as well as the enhancement of herbicide glyphosate effect, carfentrazone-ethyl and glyphosate + carfentrazone-ethyl under light restraint.

Keywords: photosynthesis, stomatal conductance, water use efficiency, shading.

1 INTRODUÇÃO

O siratro (*Macroptilium atropurpureum*) é uma planta utilizada em consórcios com gramíneas forrageiras, pela sua aceitabilidade e desempenho animal (VALENTIN, 2010). Entretanto, sua elevada capacidade de produção de sementes e vigor a tornaram planta daninha comum em áreas de reflorestamento e pomares (LORENZI, 2008).

Tal fato tem deixado pesquisadores preocupados quanto ao manejo adequado dessa espécie já que existem poucos relatos de produtos voltados para o controle. Em áreas produtoras de soja, no centro oeste do país, o siratro tem sido declarado por diversos produtores como tolerante ao herbicida glyphosate (CONCENÇO *et al.*, 2012). Adicionalmente, essa planta possui ampla distribuição em ambientes, ocorrendo em áreas sombreadas e de insolação plena (TUFFI SANTOS *et al.*, 2013).

Conhecer as diferentes intensidades luminosas em que esta planta esta alocada é fundamental para estabelecer os melhores planos de manejo. O sombreamento gerado pelo dossel das árvores em uma floresta ou mesmo em um pomar pode influir no crescimento e desenvolvimento de plantas daninhas presentes nesses locais e consecutivamente sobre o seu manejo (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2013). Mudanças na morfologia são observadas em diversas plantas, entretanto, pouco se sabe sobre como as alterações provocadas pelo ambiente refletem nas características fisiológicas das plantas daninhas e sobre seus aspectos de manejo.

Esclarecer o comportamento fisiológico do siratro em ambientes com alta ou baixa disponibilidade luminosa e avaliar o efeito de herbicidas sobre esses aspectos da biologia da planta pode ser medida fundamental para estabelecer o manejo mais adequado dessa espécie.

Diante do exposto objetivou-se avaliar a influência da intensidade luminosa e da aplicação isolada ou em mistura de glyphosate e carfentrazone-ethyl, sobre as características fisiológicas do siratro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de fevereiro a maio de 2014, no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, no município de Montes Claros - MG, 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 de savana (KÖPPEN, 1948). Os dados climáticos referentes ao período de experimento são apresentados na Gráfico 1.

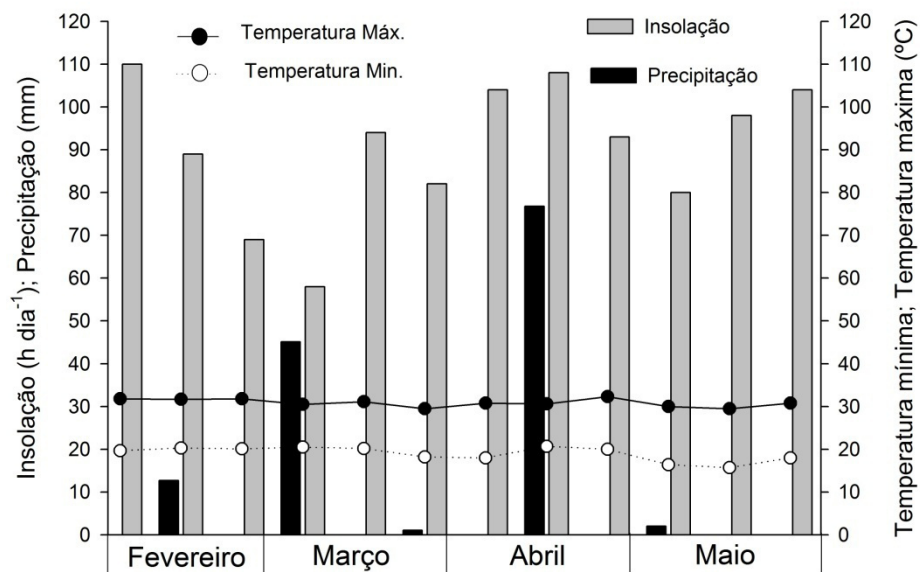


GRÁFICO 1. Médias decendiais de insolação (h dia⁻¹), precipitação (mm) e temperatura mínima e máxima (°C) referente aos meses de fevereiro a maio de 2014, em Montes Claros – MG.

Fonte: INMET, 2014.

Mudas de siratro foram produzidas inicialmente em bandejas de isopor de 128 células e preenchidas com substrato comercial a base de fibra e pó de coco, casca de pinus, vermiculita, casca de arroz e nutrientes. Após 30 dias de cultivo, essas foram padronizadas quanto ao número de folhas e altura e então transferidas para vasos de 12 dm³ contendo substrato formado a partir de solo de textura arenosa da primeira camada arável mais fertilizantes. O solo utilizado apresentou as seguintes características

químicas: pH (água) de 4,7; teor de matéria orgânica de 2,37 dag kg⁻¹; P de 0,47 mg dm⁻³; K de 35 mg dm⁻³; Ca de 0,20 cmol_c dm⁻³; Mg 0,10 cmol_c dm⁻³; Al de 0,60 cmol_c dm⁻³; H+Al 2,90 cmol_c dm⁻³; CTC_{efetiva} de 0,99 cmol_c dm⁻³. Para fertilização do substrato utilizou-se superfosfato simples, cloreto de potássio e uréia, conforme recomendação de (CANTARUTTI, *et al.*, 2007). Com a finalidade de suprir as demandas de macro e micronutrientes essas plantas foram adubadas com fertilizante mineral foliar nutrigarden[®], quinzenalmente, durante todo o período de cultivo. A umidade do solo foi mantida próximo da capacidade de campo por meio de irrigações realizadas duas vezes ao dia.

O delineamento adotado foi o de blocos casualizados com 5 repetições, em um total de 60 parcelas experimentais. Os tratamentos foram estabelecidos a partir do esquema fatorial 3x4, com diferentes níveis de sombreamento (0, 50 ou 70% de sombra) e dois herbicidas combinados ou não (Tabela 1). Os ambientes sombreados foram obtidos por meio de tela sombrite de polipropileno, cor preta. A interceptação luminosa foi aferida com a realização de 10 medições pontuais em cada ambiente usando o aparelho AccuPAR Linear PAR/LAI ceptometer, Model - LP 80 (Decagon Devices) obtendo se médias de 1170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ambiente de pleno sol, 580 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ambiente com 50% de sombra e de 406 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ambiente com 70% de sombreamento.

TABELA 1

Herbicidas e doses utilizadas para o controle do siratro	
HERBICIDAS	DOSES (g ha ⁻¹)
Testemunha	0
Carfentrazone-ethyl*	40
Glyphosate + carfentrazone-ethyl	1080+30
Glyphosate ¹	1440

Fonte: Do autor

Nota: Produtos comerciais: *SPOTLIGHT[®]; ¹ROUNDUP ORIGINAL[®].

Após 45 dias de cultivo em vaso, as plantas receberam por meio de pulverizador costal as doses de herbicidas.

As avaliações fisiológicas foram realizadas após dois e seis dias da aplicação dos herbicidas em folhas totalmente expandidas localizadas no

terço superior das plantas entre o terceiro e quarto nó. Utilizou-se o medidor portátil marca ADC, modelo LCA 4 (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), que determina as trocas gasosas foliares a partir das variações de CO_2 e da umidade relativa no interior da câmara do aparelho. Foram estimados o teor de carbono interno nas folhas (C_i), as taxas de fotossíntese líquida por unidade de área foliar (A), a condutância estomática ao vapor de água (Gs), a taxa transpiratória foliar (E), além de calculada a eficiência no uso da água (EUA) através da relação entre a taxa fotossintética e a quantidade de água transpirada. As avaliações ocorreram entre 8 e 11 horas, de forma a manter condições homogêneas para cada bloco.

Folhas completamente expandidas foram coletadas aos 45 dias após plantio em vaso do terço superior antes da aplicação dos herbicidas, sendo estas digitalizadas por meio de scanner e as imagens usadas para determinação da área foliar através do programa Image-Pro Plus[®].

A determinação da biomassa seca da parte aérea foi realizada aos 28 dias após aplicação dos herbicidas (DAA), através da coleta de todo o material vegetal que se encontrava remanescente no vaso e encaminhamento a estufa de circulação forçada de ar a 55 °C por 72 horas até atingir peso constante.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F e quando significativos, as médias foram comparadas ao teste Tukey a 5% de probabilidade de erro utilizando o programa de análises estatísticas SAEG, na versão 9.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se interação significativa entre os fatores intensidade luminosa e herbicidas para as variáveis taxa fotossintética (A) aos 2 e 6 DAA (dias após aplicação), eficiência no uso da água (EUA) aos 2 DAA e bioacumulação de massa seca na parte aérea aos 28 DAA sendo neste caso desdobradas para análise dos fatores estudados.

Plantas de siratro isentas da aplicação de herbicidas apresentaram menor condutância estomática quando de seu cultivo nos ambientes com 50 e 70% de limitação luminosa (Tabela 2). Com a aplicação dos herbicidas observa-se uma redução drástica na taxa fotossintética, já observada aos 2 DAA do produtos, independente do ambiente de cultivo (Tabela 2). A mistura entre os herbicidas glyphosate e carfentrazone-ethyl provocou reduções nessa taxa de até 83,75% aos 2 DAA no ambiente com 70% de sombra e 94% aos 6 DAA no ambiente com 50% de sombra (Tabela 2).

A taxa fotossintética e a eficiência no uso da água de plantas de siratro, cultivadas a pleno sol, apresentaram aos 2 DAA reduções significativas quando da aplicação de glyphosate e carfentrazone-ethyl, isolados ou combinados (Tabela 2). Nos ambientes sombreados, em comparação ao pleno sol, observou-se menor eficiência do uso da água quando da aplicação de carfentrazone isolado ou em mistura (Tabela 2).

TABELA 2

Taxa fotossintética (A) e eficiência no uso da água (EUA) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, em função da intensidade luminosa aos 2 e 6 dias após aplicação (DAA).

2 DAA				
A - ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
Intensidade luminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha^{-1})			
	0 + 0	0 + 40	1080 + 30	1440 + 0
Pleno sol	30,87 Aa	4,84 Ab	4,43 Ab	9,27 Ab
50 % de sombra	14,83 Ba	2,17 Ab	3,81 Ab	4,14 ABb
70 % de sombra	10,28 Ba	5,42 Aab	1,67 Ab	3,48 Bb
CV (%): 31,2				
EUA - ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)				
Intensidadeluminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha^{-1})			
	0 + 0	0 + 40	1080 + 30	1440 + 0
Pleno sol	5,23 Aa	1,61 Ab	1,65 Ab	2,37 Ab
50 % de sombra	3,23 Ba	1,53 Ab	1,73 Aab	2,06 Aab
70 % de sombra	2,31 Ba	1,93 Aa	0,92 Ab	1,78 Aa
CV (%): 32				
6 DAA				
A - ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
Intensidade luminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha^{-1})			
	0 + 0	0 + 40	1080 + 30	1440 + 0
Pleno sol	29,28 Aa	19,26 Ab	2,41 Ac	12,97 Ab
50 % de sombra	15 Ba	3,85 Bb	0,90 Ab	0,63 Bb
70 % de sombra	12,55 Ba	2,46 Bb	1,72 Ab	0,74 Bb
CV (%): 34,8				

Fonte: Do autor

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Plantas de siratro 6 DAA não apresentaram para eficiência do uso da água e carbono interno interação significativa nos fatores herbicidas e doses. Entretanto a redução desses parâmetros fisiológicos foi evidente nos ambientes sombreados (Tabela 3).

TABELA 3

Condutância estomática (Gs) e eficiência do uso da água (EUA) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a diferentes intensidades luminosas aos 6 dias após aplicação (DAA) de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl.

6 DAA		
Intensidade luminosa	Gs ($\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$)	EUA ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)
Pleno sol	0,33 a	3,08 a
50 % de sombra	0,10b	1,16 b
70 % de sombra	0,13b	1,09 b
CV(%)	55,7	53,4

Fonte: Do autor

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Independente da intensidade luminosa, plantas de siratro aos 2 dias após aplicação (DAA) da mistura de glyphosate e carfentrazone-ethyl, apresentaram redução de 80 % na condutância estomática (Tabela 4). Os teores de carbono interno nas plantas que receberam apenas carfentrazone-ethyl (2 DAA) evidenciaram acréscimo de 57,1 % em relação a testemunha. As avaliações realizadas 6 DAA demonstraram que quando submetidas a combinação entre esses herbicidas as plantas apresentaram reduções de até 88,6 % na condutância estomática, 89 % na eficiência do uso da água e 78,3 % no carbono interno quando comparadas a testemunha (Tabela 4).

TABELA 4

Condutância estomática (Gs), eficiência do uso da água (EUA) e carbono interno (Ci) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, aos 2 e 6 dias após aplicação (DAA).

2 DAA			
Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha ⁻¹)	Gs ($\mu\text{mol m}^{-1}\text{s}^{-1}$)	EUA ($\mu\text{mol CO}_2$ mol H ₂ O ⁻¹)	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
0+0	0,45 a	3,58 ^{ns}	205 b
0+40	0,25 b	1,69 ^{ns}	322 a
1080+30	0,09 b	1,45 ^{ns}	301ab
1440+0	0,18 b	2,04 ^{ns}	305 a
CV(%)	46,5	30,0	21,9
6 DAA			
Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i.a . ha ⁻¹)	Gs ($\mu\text{mol m}^{-1}\text{s}^{-1}$)	EUA ($\mu\text{mol CO}_2$ mol H ₂ O ⁻¹)	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
0 + 0	0,35 a	3,91 a	230 a
0 + 40	0,24 ab	1,89 b	314 a
1080 + 30	0,04 c	0,43 c	50 b
1440 + 0	0,13 bc	0,87 bc	245 a
CV (%)	55,8	53,7	42

Fonte: Do autor

Nota: ^{ns} (não significativo). Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

A drástica redução, com valores superiores a 60 %, na condutância estomática e na eficiência do uso da água de plantas de siratro cultivadas à sombra, em comparação com indivíduos mantidos a pleno sol (Tabela 3), sugere baixa adaptação da espécie aos ambientes sombreados. Essa suposição pode ser reforçada pelo menor acúmulo de biomassa dessa espécie nos ambientes com sombra, quando em comparação com plantas mantidas a pleno sol (Tabela 5). Em classificação de leguminosas forrageiras quanto á adaptação ao sombreamento proposta por Shelton e Sturr (1991), o siratro está entre as plantas com baixa tolerância á ambientes com restrição luminosa. O desempenho vegetativo das plantas em seus respectivos ambientes pode ser observado pelas alterações no formato e na aérea foliar (Figura 1). Em ambiente de pleno sol os folíolos de siratro apresentam em

média $46,65 \text{ cm}^2$, já em condições de 50 % e 70 % de sombra esses valores atingem $51,79 \text{ cm}^2$ e $72,75 \text{ cm}^2$ respectivamente (Figura 1).

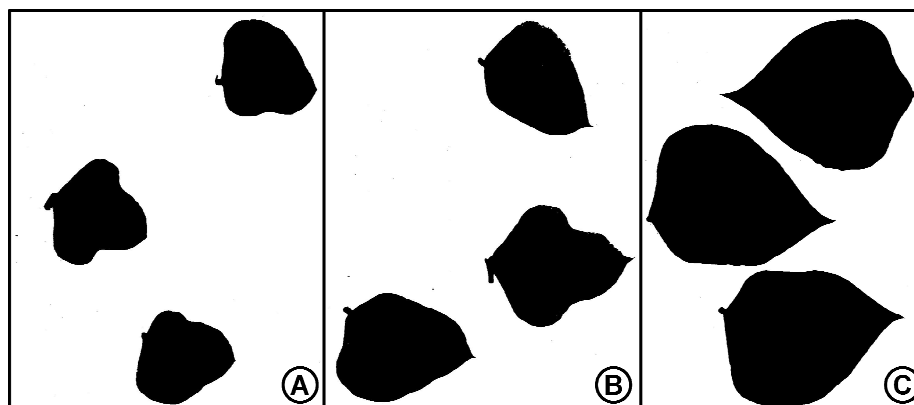


FIGURA 1. Área e formato de folíolos de siratro (*Macropitillium atropurpureum*) em diferentes intensidades luminosas. Em (A) pleno sol; (B) 50 % de sombra; (C) 70 % de sombra. Fonte: Do autor.

A massa seca da parte aérea de siratro foi influenciada pela interação entre os ambientes e as doses dos herbicidas (Tabela 5). A combinação entre glyphosate e carfentrazone-ethyl promoveu redução de 73,20 % na massa seca das plantas de siratro quando comparadas a testemunha no ambiente com 70 % de sombra. As aplicações isoladas de glyphosate proporcionaram redução de 86,75 % nessa variável no ambiente com 70 % de sombreamento. Entretanto o carfentrazone-ethyl em aplicação isolada apresentou resultados de massa seca próximos a testemunha no ambiente de pleno sol (Tabela 5).

TABELA 5

Massa seca da parte aérea (g vaso⁻¹) de siratro (*Macroptilium atropurpureum*) submetido a doses de glyphosate e ou carfentrazone-ethyl, em função da intensidade luminosa de crescimento aos 28 dias após aplicação (DAA).

Intensidade luminosa	Doses de Glyphosate + Carfentrazone-ethyl (g i. a. ha ⁻¹)			
	0+0	0+40	1080+30	1440
Pleno sol	30,56 Aa	30,85 Aa	12,95 Ac	21,94Ab
50 % de sombra	24,46 Ba	9,15 Bb	5,95 Bb	4,84Bb
70 % de sombra	19,55 Ba	13,11 Bb	5,24 Bc	2,59 Bc
CV (%): 20,8				

Fonte: Do autor

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A potencialização da taxa fotossintética em ambientes com restrição luminosa é dependente da plasticidade fenotípica da planta. A diferenciação celular, histológica e de órgãos condiciona o comportamento morfofisiológico da planta (LAMBERS *et al.*, 1998). Os fitocromos existentes nas células vegetais percebem o balanço de radiação na faixa do vermelho e vermelho distante em condições de sombreamento e estimulam o alongamento dos tecidos e como resposta a esse efeito ocorrem alterações na taxa fotossintética das plantas (CONCENÇO *et al.*, 2008). A expansão do limbo foliar para aumentar a captação e aproveitamento da luz incidente proporciona a maior eficiência fotossintética observada nas plantas de siratro cultivadas sob restrição luminosa do presente trabalho e também evidenciada por (OLIVEIRA *et al.*, 2011; TUFFI SANTOS *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2015). O fluxo de entrada e saída de CO₂ e O₂ controlado pela abertura dos estômatos também está associado a essa taxa uma vez que em condições de disponibilidade de luz e hidratação da folha adequadas as células guarda dessas estruturas se mantêm abertas (COSTA; MARENCO, 2007). Os danos provocados pelos herbicidas também podem estar relacionados à redução nessa taxa. Nas Plantas tratadas com carfentrazone-ethyl ocorre o acúmulo de protoporfirinogênio no cloroplasto que em altas concentrações atingem por difusão o citoplasma onde é transformado em protoporfirina IX, que ao ser exposta a luminosidade e ao oxigênio molecular formam oxigênio singleto, que é um radical livre altamente reativo que provoca a peroxidação dos lipídeos da membrana e a morte das células (CARVALHO; LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

Assim plantas que recebem este herbicida têm a rápida formação de necroses foliares e redução nas taxas fotossintéticas (SILVA *et al.*, 2007). Embora a luz seja fundamental para a ação desse herbicida mesmo em ambiente sombreados ocorreu reduções na taxa fotossintética indicando, portanto que o sombrite permite a passagem de luminosidade suficiente para dar continuidade ao processo de deterioração dos tecidos.

A eficiência do uso da água (EUA) é caracterizada como a capacidade de produção de matéria seca a partir da quantidade de água transpirada. Modificações nas estruturas morfofisiológicas provocadas pelos herbicidas podem estar relacionadas a redução da EUA. Além disso, os fatores ambientais como temperatura da folha, luminosidade, umidade relativa bem como a abertura, densidade e posicionamento dos estômatos também influenciam nessa variável fisiológica (ASPIAZÚ *et al.*, 2010).

A condutância estomática está relacionada à abertura e fechamento dos estômatos que por sua vez é dependente de fatores relacionados a disponibilidade luminosa, quantidade de CO₂, umidade relativa, hidratação das plantas e outros (CONCENÇO *et al.*, 2007). Herbicidas com o mecanismo de ação inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) podem induzir a formação de óxido nítrico, responsável pelo estímulo a produção de ácido abscísico que é o hormônio regulador do fechamento dos estômatos (MATA; LAMATTINA, 2001). Dessa forma, na condição de restrição luminosa obtida nesse experimento pode ter ocorrido o fechamento dos estômatos e por consequência restrição das trocas gasosas, o que afetaria indiretamente as demais variáveis fisiológicas avaliadas.

A avaliação realizada aos 2 DAA demonstra que os herbicidas alteraram o metabolismo de assimilação de carbono e proporcionaram maior acúmulo de CO₂ no interior do mesófilo. O estresse provocado pela aplicação de herbicidas promove essa resposta das plantas como mecanismo de defesa aos danos provocados ao aparelho fotossintético (SILVEIRA *et al.*, 2013). Entretanto, aos 6 DAA, para a mistura de glyphosate e carfentrazone - ethyl a concentração de Ci reduziu significativamente o que pode indicar danos às células guarda dos estômatos e maior sensibilidade das plantas a essa mistura.

A maior biomassa seca obtida nas plantas que receberam apenas o herbicida carfentrazone-ethyl e cultivadas com nível de 70 % de sombra pode estar associada ao chamado “efeito guarda-chuva” onde as folhas superiores recebem o maior volume de calda do herbicida ficando as inferiores protegidas (ROCHA *et al.*, 2007). Como o carfentrazone-ethyl é um herbicida de pouca mobilidade nos tecidos vegetais (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011), somente as folhas que tiveram contato com a molécula do herbicida apresentaram rápida senescência permitindo com que as demais permanecessem nas plantas até a avaliação da biomassa.

O sombreamento faz com que as plantas invistam maior quantidade de fotoassimilados e outros recursos no aumento da aérea foliar, entretanto isso promove redução na biomassa (GOBBI *et al.*, 2011) e maior sensibilidade aos herbicidas (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2013).

Trabalhos que reportam os aspectos fisiológicos de plantas daninhas após aplicações de herbicidas ainda são restritos na literatura, porém estudos como esse ajudam a diagnosticar quais estruturas estão envolvidas com os danos provocados pelos herbicidas e como o ambiente pode influenciar nos aspectos morfofisiológicos. Envolver análises relacionadas a características anatômicas pode ser fundamental para elevar o conhecimento das modificações provocadas pelos ambientes e produtos nas plantas de siratro.

4 CONCLUSÕES

Pode-se inferir que a redução no acúmulo de massa seca pelas plantas de siratro em ambientes sombreados justifica-se pela menor eficiência fotossintética, condutância estomática e eficiência no uso da água, bem como a potencialização do efeito herbicida do glyphosate, carfentrazone-ethyl e glyphosate + carfentrazone-ethyl sob restrição luminosa.

REFERÊNCIAS

- ASPIAZÚ, I.; SEDIYAMA, T.; RIBEIRO JR., J. I.; SILVA, A. A.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; GALON, L.; SILVA, A. F.; BORGES, E. T.; ARAUJO, W. F. Eficiência do uso da água de plantas de mandioca em condições de competição. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 699-703, 2010.
- CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da PROTOX (Grupo E). In: CHRISTOFFOLETI, P. J. (Coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**, p. 69-77, 2008.
- CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; D'ANTONINO, L.; VARGAS, L.; FIALHO, C. M. T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, v.25, n. 3, p. 449-455, 2007.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; EMILIA, H.; MARTINEZ, P.; NOVAIS, R. F. XXI Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007, p. 1017.
- CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; GALON, L.; REIS, M. R.; D'ANTONINO, L.; VARGAS, L.; SILVA, L. V. B. D. Fotossíntese de biótipos de azevém sob condição de competição. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 595-600, 2008.
- CONCENÇO, G. ANDRES, A.; GALON, L.; PONTES, C. S.; CORREIA, V. Controle de *Macroptilium lathyroides* com herbicidas aplicados em pré e pós-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.1, p.11-23, 2012.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**. v. 37, n.2, p.229 – 234, 2007.
- GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; GARCEZ NETO, A. F.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.7, p.1436-1444, 2011.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **5º Distrito de Meteorologia de Montes Claros**. 2014.
- KOPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.
- LAMBERS, H.; CHAPIM III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 1998. 540p.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 672p.

MATA, C. G.; LAMATTINA, L. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. **Plant Physiology**. v. 126, n. 3, p. 1196-1204, 2001.

PEREIRA, F. H. F.; SILVA SÁ, F. V.; PUIATTI, M.; FINGER, F. L.; CECON, P. R.; Crescimento de planta, partição de assimilados e produção de frutos de melão amarelo sombreado por diferentes malhas. **Ciência Rural**, v., p., 2015.

ROCHA, D. C.; RODELLA, R. A.; MARTINS, D.; MACIEL, C. D. G. Efeito de herbicidas sobre quatro espécies de trapoeraba. **Planta Daninha**, v.25, n. 2, p. 359-364, 2007.

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

SANTOS JÚNIOR, A.; TUFFI SANTOS, L. D.; COSTA, G. A.; BARBOSA, E. A.; LEITE, G. L. D.; MACHADO, V. D.; CRUZ, L. R. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 213-221, 2013.

SHELTON, H.M.; STUR, W.W. **Forages for Plantation Crops. Proceedings oh workshop.Sanur Beach. Bali, Indonesia**. ACIAR Proceedings 1991. 168p.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.

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

TUFFI SANTOS, L. D.; CARDOSO FILHO, O.; SANTOS JUNIOR, A.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; FELIX, R. C.; LEITE, F. P. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 491-499, 2013.

TUFFI SANTOS, L. D.; CRUZ, L. R.; SANTOS, S. A.; BRUNO F. SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; SANTOS, I. T.; OLIVEIRA, A. M.; BARROS, R. E.; SANTOS, M. V.; FARIA, R. M. 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.

VALENTIN, J. F. Outras leguminosas forrageiras de importância econômica para a pecuária brasileira. In: FONSECA, D.M; MARTUSCELLO, J.A. (Eds.) **Plantas Forrageiras**. Viçosa: Ed. UFV, 2010. p.439-445.