

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Raul Ribeiro Silveira

**CAPIM-MARANDU SUBMETIDO A SOLUÇÃO CONTENDO NICOSULFURON
POR DIFERENTES PERÍODOS DE ARMAZENAMENTO**

Diamantina

2018

Raul Ribeiro Silveira

**CAPIM-MARANDU SUBMETIDO A SOLUÇÃO CONTENDO NICOSULFURON
POR DIFERENTES PERÍODOS DE ARMAZENAMENTO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Vitória Santos

Co-orientador: Prof. Dr. José Barbosa dos Santos
Dr. Leandro Diego da Silva

Diamantina

2018

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S587c

Silveira, Raul Ribeiro.

Capim-marandu submetido a solução contendo nicosulfuron por diferentes períodos de armazenamento / Raul Ribeiro Silveira, 2018. 58 p.

Orientadora: Márcia Vitória Santos

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

1. Capim braquiaria. 2. Hidrólise. 3. Herbicidas. I. Santos, Márcia Vitória. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

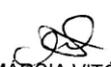
CDD 581

**CAPIM-MARANDU SUBMETIDO A SOLUÇÃO CONTENDO
NICOSULFURON POR DIFERENTES PERÍODOS DE ARMAZENAMENTO**

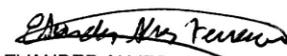
Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM ZOOTECNIA, nível
de MESTRADO como parte dos
requisitos para obtenção do título de
MAGISTER SCIENTIAE EM
ZOOTECNIA

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Márcia
Vitória Santos

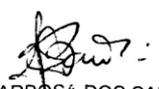
Data da aprovação : 22/08/2018


Prof.Dr.^a MÁRCIA VITÓRIA SANTOS - UFVJM


Prof.Dr. GUSTAVO HENRIQUE DE FRIAS CASTRO - UFVJM


Prof.Dr. EVANDER ALVES FERREIRA - UFVJM


Prof.Dr. LEANDRO DIEGO DA SILVA - UFVJM


Prof.Dr. JOSE BARBOSA DOS SANTOS - UFVJM

AGRADECIMENTOS

“Aos meus pais, José e Estela pelo amor, paciência, esforços e confiança depositada, sendo para mim a energia e vontade necessária para alcançar mais esta etapa, mesmo com todas as dificuldades encontradas no decorrer desse longo caminho;

A memória dos meus avôs Pimpim e João do Abílio, pelos princípios inabaláveis, exemplo de companheirismo, lealdade, fé, amor, dedicação, sabedoria e compromisso, fica a certeza do reencontro. A vovó Zezé por está presente no final desta caminhada, fazendo de minhas conquistas as suas, sendo meu exemplo de coragem para seguir em frente. Gratidão por ser neto de vocês;

Aos meus irmãos José Olímpio, João Carlos e André, pelo companheirismo, amor, confiança e acima de tudo por sempre estarem ao meu lado.

Aos meus tios, tias, primos e primas, em especial ao meu Tio Nei que está sempre comigo e que são porto seguro de amizade, alegria, amor, preocupações e companheirismo nesta caminhada;

Aos amigos, pelas madrugadas de estudos e alegrias, apoio nos momentos de dificuldade e por tornarem essa caminhada tranquila. A vocês amigos, meu muito obrigado por estarem presentes nos acertos e erros, principalmente por proporcionarem bons e melhores momentos;

Aos professores minha eterna gratidão pelos ensinamentos, conselhos e direcionamento, em especial aos membros da banca examinadora, Gustavo, Barbosa, Evander e Leandro;

Aos funcionários e técnicos por proporcionar meu conforto e aprendizado, em especial a Elisangela por todo carinho e atenção;

Aos membros do NESAFs, especialmente a Priiii pela ajuda no desenvolver dos experimentos, meu muito obrigado.

À Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização da pós graduação;

Ao Dilson, Geraldo, Liu e seus familiares por me acolherem como se eu fosse da família deles em Curvelo, durante e após o período experimental;

A professora Marcia Vitória Santos pela orientação, paciência, amizade, ensinamentos e por sempre estar a disposição quando precisei durante a pós-graduação. Não há palavras que descreva a gratidão imensa que tenho por ter sido orientado pela senhora nesses 7 anos que estamos trabalhando juntos.

Com carinho, Agradeço.”

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito de diferentes tempos de armazenamento da solução do herbicida nicosulfuron sob a eficiência no crescimento e fisiologia do capim-marandu. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na UFVJM, campus JK, em Diamantina-MG. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (6x5)+1, sendo seis tempos de armazenamento da solução do herbicida nicosulfuron (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) aplicado na *Brachiaria brizantha* Stapf cv. marandu (capim-marandu) (syn. *Urochloa brizantha*), e cinco épocas de avaliação 0, 7, 14, 21 e 60 dias após aplicação do herbicida (DAA), mais testemunha sem aplicação. Avaliou-se as características de intoxicação, crescimento e fisiológicas do capim-marandu. Observou-se redução do pH da água após a adição do herbicida, promovendo acidificação da solução, e quanto maior o tempo de armazenamento da solução do herbicida, menor foi o pH. A intoxicação promovida pelo nicosulfuron no capim-marandu aumentou significativamente de acordo com os dias após a aplicação. Já com relação ao tempo de armazenamento da solução, constatou-se maior efeito intoxicante no tempo zero de armazenamento do herbicida, observando-se decréscimo desses valores com o aumento do tempo de armazenamento. O número de perfilhos aéreos (NPA) foi maior no tempo zero horas, reduzindo 72 horas. Já para o número de perfilhos basais (NPB) ocorreu o inverso do NPA. Para as características fisiológicas como taxa de transporte de eletros (ETR) e eficiência do fotossistema II (Fv/Fm) foram observadas diferenças entre as épocas de avaliação. Já o CO₂ consumido (ΔC), taxa de transpiração (E), condutância estomática de vapores de água (Gs), taxa fotossintética (A) e eficiência no uso da água (EUA) menores valores com o aumento dos dias de avaliação e menores valores no tempo de armazenamento de zero horas quando comparamos com os tempos com mais de 48 horas de armazenamento, porém para os valores de carbono interno (Ci) observou-se o contrário. O tempo de armazenamento da solução herbicida de nicosulfuron afeta diretamente as características produtivas e fisiológicas do capim-marandu, pois, quanto maior o tempo de armazenamento da solução, menor será a eficiência desse herbicida, devido a hidrólise da molécula herbicida. O tempo de armazenamento da solução herbicida afeta diretamente no pH da água, onde quanto maior esse tempo menor será o pH da água e menor os níveis de intoxicação das plantas de capim-marandu, sem todavia, interferir no tamanho das plantas. O aumento do tempo de armazenamento da solução herbicida reduz o perfilhamento aéreo e aumenta o

basal. O armazenamento da solução do herbicida nicosulfuron afeta os parâmetros fisiológicos: CO_2 consumido, E , A e EUA aumentando seus valores.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*, consórcio, hidrólise, diluição

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of different storage times of the herbicide nicosulfuron under the efficiency of the growth of marandu grass. The experiment was conducted in a greenhouse at the UFVJM, JK campus, in Diamantina-MG. The experimental design was completely randomized, with seven replications. The treatments were distributed in a factorial scheme (6x5) +1, with six storage times of the herbicide nicosulfuron (0, 6, 12, 24, 48 and 72 hours) applied in *Brachiaria brizantha* Stapf cv. and five evaluation periods 0, 7, 14, 21 and 60 days after application of the herbicide (DAA), plus control without application. It was evaluated the intoxication, growth and physiological characteristics of the marandu grass. It was observed a reduction of the pH of the water after the addition of the herbicide, promoting acidification of the solution, and the longer the storage time of the herbicide, the lower the pH. The intoxication promoted by nicosulfuron in the marandu grass increased significantly according to the days after the application. Regarding the time of storage of the syrup, it was verified a greater intoxicating effect in the zero time of storage of the herbicide, observing a decrease of these values with the increase of the time of storage. The number of aerial tiller (NPA) was higher at time zero hours, reducing 72 hours. As for the number of basal tillers (NPB), the inverse of NPA occurred. For the physiological characteristics such as electron transport rate (ETR) and efficiency of photosystem II (F_v / F_m), differences between the epochs of evaluation were observed. On the other hand, CO₂ consumption (ΔC), transpiration rate (E), stomatal conductance of water vapors (G_s), photosynthetic rate (A) and water use efficiency (US) values in the storage time of zero hours when compared with the times with more than 48 hours of storage, but for the values of internal carbon (C_i) the opposite was observed. The storage time of the herbicide syrup of nicosulfuron directly affects the productive and physiological characteristics of the marandu grass, because the longer the storage time of the syrup, the lower the herbicide efficiency due to the hydrolysis of the herbicide molecule. The storage time of the herbicide solution directly affects the pH of the water, where the longer the water pH, the lower the levels of intoxication of the marandu grass plants, without interfering with the size of the plants. The increase in the storage time of the herbicide syrup reduces aerial tillering and increases the basal. The storage of the herbicide nicosulfuron affects the physiological parameters: CO₂ consumed, E, A and WUE increasing their values.

Key words: *Brachiaria brizantha*, consortium, hydrolysis, dilution

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS	19
2.2 EFICIÊNCIA DE CONTROLE EM RELAÇÃO AO TEMPO DE ARMAZENAMENTO DE SOLUÇÃO HERBICIDA	19
2.3 HIDRÓLISE DA MOLÉCULA HERBICIDA	20
2.4 FATORES QUE AFETAM A ABSORÇÃO FOLIAR DE HERBICIDAS	22
2.5 NICOSULFURON.....	23
MATERIAL E MÉTODOS	26
AVALIAÇÃO DE PH DA SOLUÇÃO DO HERBICIDA NICOSULFURON	27
AVALIAÇÃO DE INTOXICAÇÃO DO CAPIM-MARANDU	27
AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO DO CAPIM-MARANDU	27
AVALIAÇÃO DE PRODUÇÃO DO CAPIM-MARANDU.....	28
AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS DO CAPIM-MARANDU	28
ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
AVALIAÇÃO DE PH DA SOLUÇÃO	30
AVALIAÇÃO DE INTOXICAÇÃO DO CAPIM-MARANDU.....	31
AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO DO CAPIM-MARANDU	32
AVALIAÇÃO DE PRODUÇÃO DO CAPIM-MARANDU.....	36
AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS DO CAPIM-MARANDU	39
CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

O herbicida nicosulfuron pertence ao grupo das sulfoniluréias, que atua inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), inibindo a síntese de aminoácidos de cadeia ramificada como a leucina, isoleucina e valina, interrompendo a síntese proteica, que, por sua vez, interfere na síntese do DNA e no crescimento celular (KROLIKOWSKI, 2015). Após a absorção foliar, herbicidas desse grupo são rapidamente translocados, tanto por via apoplasto, através das paredes celulares, e simplasto, através de plasmodesma, para áreas de crescimento ativo, como meristemas e áreas apicais, onde o crescimento é inibido em plantas susceptíveis, como as plantas do gênero *Brachiaria*. Dessa forma, as plantas podem morrer pela incapacidade de produção de aminoácidos essenciais (FREITAS *et al.*, 2015).

O nicosulfuron é seletivo à cultura do milho, ocorrendo metabolização do composto por tolerância diferencial (GALON *et al.*, 2010), sendo utilizado para controle de plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas, bem como na supressão do crescimento de plantas forrageiras em cultivo de milho consorciado em integração lavoura-pecuária (BORGHI; CRUSCIOL, 2007; CAMARGOS, 2014; JAKELAITIS *et al.*, 2005, 2006; TIMOSSI, 2009), e, ou, lavoura-pecuária-floresta (SANTOS *et al.*, 2015).

O nicosulfuron apresenta solubilidade em água que varia de acordo com o pH da solução, sendo de 360 mg L⁻¹ em pH cinco e 12.200 mg L⁻¹ para pH 7, em temperatura ambiente a 25 °C. A degradação química da molécula herbicida pode ocorrer, principalmente, por meio de reações de oxidação, redução e hidrólise (OLIVEIRA *et al.*, 2011). De acordo com Oliveira *et al.* (2005) a hidrólise têm sido considerada o principal fator de degradação dos herbicidas pertencentes ao grupo das sulfoniluréias devido as reações de substituição de radicais do herbicida por hidroxilas (OH⁻) oriundas das moléculas de água.

Vários problemas relacionados ao uso de herbicidas para controle de plantas daninhas podem comprometer a eficiência do produto químico, como a quebra de equipamentos ou maquinário de pulverização e chuvas durante a operação, o que pode levar ao adiamento da aplicação, tendo que a solução diluída ser armazenada no pulverizador. Embora vários trabalhos em literatura reportem o uso de nicosulfuron para controle de plantas daninhas, principalmente no milho, pouco se sabe sob a degradação dessa molécula pela hidrólise durante o armazenamento. Portanto, existe a necessidade de se ampliar os estudos com relação à degradação da molécula do herbicida nicosulfuron pela hidrólise, para analisar se existe problema no tempo de armazenamento da solução desse herbicida.

Sendo assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito de diferentes períodos de armazenamento da solução do herbicida nicosulfuron sobre a eficiência de crescimento do capim-marandu.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tecnologia de aplicação de herbicidas

A tecnologia da aplicação de herbicidas tem possibilitado um acréscimo na produção vegetal, devido à eliminação da competição de plantas daninhas por água, luz e nutrientes. Ainda que um herbicida possa ser prejudicial à cultura, a produção pode ser aumentada devido ao controle das plantas invasoras (MÔRO & FILHO, 1999).

Esta ciência pode ser definida como a correta colocação do produto fitossanitário no alvo, se necessário, na quantidade requerida, de maneira econômica e com o menor risco de contaminação humana e ambiental (FRITZ et al., 2014).

A manutenção da produtividade e da rentabilidade de cultivos em escala comercial é muito dependente do uso de herbicidas. No entanto, seja na pulverização terrestre ou aérea, o sucesso no tratamento fitossanitário depende não somente de produtos de ação comprovada, mas também da tecnologia desenvolvida para sua aplicação (FRITZ et al., 2007; FRITZ et al., 2014; CARVALHO et al.2016).

Visto o dinamismo e a complexidade que envolve o processo de aplicação de produtos fitossanitários, em que há numerosas oportunidades de perdas de ingrediente ativo (BRAZEE et al., 1991; EBERT; DOWNER, 2008; MERRITT et al., 1989; REICHARD, 1988), o maior desafio para se conseguir a resposta biológica esperada de um herbicida é produzir o espectro de gotas ideal para cada mistura ou tipo de produto (CREECH et al., 2015a; CREECH et al., 2015b).

2.2 Eficiência de controle em relação ao tempo de armazenamento de solução herbicida

Os estudos sobre alterações físico-químicas em herbicidas devido ao armazenamento quase sempre se referem ao produto concentrado ou a sua degradação no ambiente após a aplicação da solução, porém quase nenhuma atenção tem sido dada a degradação da solução armazenada. Todavia, torna-se importante a determinação, para os herbicidas aplicados em pré e pós-emergência, de períodos de tempo pelos quais as soluções de herbicidas possam ser armazenadas, sem que haja prejuízo à eficácia dos mesmos e, conseqüentemente, sem resultar em prejuízos ao agricultor. Ramos e Durigan (1999), em estudo com dois herbicidas pré-emergentes, ametryne e diuron, e sete tempos de armazenamento de solução pronta: 00, 05,

10, 15, 20, 25 e 30 dias, constataram resultados semelhantes de controle de plantas daninhas, sendo elas, pé de galinha, apaga fogo e poaia branca.

Em estudos semelhantes Ramos e Durigan (1998) quando utilizaram herbicidas pós-emergentes com tempos de solução pronta de 00, 05, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de armazenamento, para os herbicidas glyphosate, paraquat e a mistura pronta de glyphosate + 2,4-D, no controle de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.), capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch.), capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Mez ex Ekman), losna branca (*Parthenium hysterophorus* L.), apagafogo (*Alternanthera ficoidea* (L.) R. Br.) e guanxuma (*Sida* spp.) observaram que os períodos de armazenamento testados apresentaram efeitos semelhantes sobre o controle, não influenciando na eficiência dos herbicidas utilizados, nas diferentes épocas de avaliação. De forma semelhante, Souza (2015) ao avaliar a influência de diferentes tempos de armazenamento (1, 14, 22, 46, 96 e 120 horas) da solução de glyphosate puro ou combinado com 2,4-D ou atrazina em tanques, visando controlar o capim-amargoso, observou efeito dos tempos de armazenamento da solução no controle aos 14, 21 e 28 dias após aplicação, bem como a massa seca aos 28 dias após aplicação, demonstrado que o tempo de armazenamento da solução até cinco dias não interferiu no controle do capim-amargoso.

2.3 Hidrólise da molécula herbicida

A hidrólise é a quebra ou alteração da cadeia molecular de materiais com cadeia carbônica, causada pela água a uma certa temperatura (Piske, 2002).

Um dos principais mecanismos de degradação das moléculas herbicidas é por hidrólise, que é influenciada no solo e na água, principalmente, relacionada ao pH e a temperatura. A hidrólise é um processo de transformação química, na qual a molécula de herbicida irá reagir com a água, formando uma nova ligação carbono-oxigênio e rompendo uma ligação carbono na molécula não degradada (URIO, 2015).

As sulfoniluréias, em geral, são compostos não-voláteis que possuem um próton ionizável no grupo amino adjacente ao grupo sulfonil, comportando-se, portanto, como ácidos fracos, com pK_a na faixa de 3 a 5 (Brown, 1990; Hay, 1990). Por essa razão, sua solubilidade em água a pH 7 é aproximadamente dez vezes maior que em pH 5 (Blair & Martin, 1988; Smith, 1995). A hidrólise dos herbicidas do grupo sulfoniluréias depende da temperatura e do pH. O pH da solução controla a hidrólise porque a forma neutra do ligante sulfoniluréia é consideravelmente mais suscetível à hidrólise que a forma iônica. Segundo Smith (1995), a

meia-vida das sulfoniluréias, chlorsulfuron, chlorimuron-ethyl, metsulfuron methyl e sulfometuron ethyl em meio aquoso a 45 °C e pH 5,0 foi de 1,7; 0,6; 2,1; e 0,4 dias, enquanto em condições similares a pH 7,0 os dados de meia-vida foram de 51, 14, 33 e 6 dias, respectivamente. Bertrand et al. (2003) observaram que o herbicida flazasulfuron teve rápida degradação em álcool (metanol ou etanol) a 30 °C e que a hidrólise seguiu cinética de primeira ordem e dependente de pH.

A constante de dissociação eletrolítica (pK) é definida como o potencial de dissociação de um ácido (pKa) ou uma base (pKb) em meio líquido (SCHWARZENBACH *et al.*, 1993). Essa constante representa o valor de pH em que há equilíbrio entre as formas iônicas (polares e mais hidrofílicas) e não-iônicas (neutras ou apolares e mais lipofílicas) dos herbicidas ionizáveis (que se dissociam em meio líquido). Dependendo do pH, herbicidas ácidos, como o nicosulfuron, dissociam-se em ânions e liberam íons hidrogênio, acidificando o meio. No entanto, herbicidas básicos dissociam-se em cátions e liberam hidroxilas (CARVALHO, 2013; OLIVEIRA Jr, 2001).

O pH da água é importante tanto para a questão da dissociação dos herbicidas ionizáveis quanto para a questão da degradação por hidrólise, cuja velocidade depende do pH. Herbicidas ácidos quando introduzidos em meio mais ácido ($\text{pH} < \text{pKa}$) não se dissociam, ou seja, é o ideal devido a molécula herbicida permanecer intacta, portanto, há maior porcentagem de herbicida na forma não-iônica e menor porcentagem de herbicida na forma iônica, porém, quando introduzidos em meio mais básico ($\text{pH} > \text{pKa}$), por exemplo a água, esses herbicidas se dissociam, ou seja, a molécula herbicida irá sofrer alteração prejudicando a eficiência do mesmo, principalmente por hidrólise. Com relação a herbicidas básicos, por sua vez, quando introduzidos em meio mais ácido ($\text{pH} < \text{pKa}$) se dissociam, portanto, há menor porcentagem de herbicida na forma não-iônica e maior porcentagem de herbicida na forma iônica; porém, quando introduzidos em meio mais básico ($\text{pH} > \text{pKa}$), esses herbicidas não se dissociam, portanto há maior porcentagem de herbicida na forma não-iônica e menor porcentagem de herbicida na forma iônica (CARVALHO, 2013).

A dureza é uma característica relacionada à quantidade de íons Ca^{++} e Mg^{++} presentes na água. Água muito dura pode influenciar as formulações ou os ingredientes ativos. As formulações com adjuvantes tensoativos aniônicos, contendo Na^+ e K^+ , podem ter esses íons substituídos pelo Ca^{++} e Mg^{++} , formando compostos insolúveis, causando perda da ação desses adjuvantes. Ingredientes ativos à base de ácidos ou sais podem reagir com os íons Ca^{++} e Mg^{++} presentes na água, podendo haver substituições e,ou, formação de compostos

insolúveis, inativando o herbicida (CARVALHO, 2013). De acordo com Mancuso *et al.* (2011) o nicosulfuron tem boa solubilidade em água devido seu caráter iônico e nota-se que ele é classificado como um herbicida ácido, ou seja, ele se dissocia em um ânion (HA^-), liberando H^+ na solução acidificando a mesma.

2.4 Fatores que afetam a absorção foliar de herbicidas

O conhecimento dos mecanismos pelos quais os herbicidas penetram nos tecidos vegetais é fundamental para o correto uso e eficiência do produto. Herbicidas podem penetrar na planta através das estruturas aéreas (folhas, caules, flores e frutos) e estruturas subterrâneas (raízes, rizomas, tubérculos, etc.) ou, mesmo através de sementes durante a germinação e emergência, através da radícula e epicótilo. No entanto, as folhas são os principais órgãos envolvidos na penetração de herbicidas aplicados durante o período pós-emergência (Silva *et al.*, 2003).

Absorção o movimento de entrada do herbicida na célula, após ter penetrado através da cutícula. A camada mais externa da cutícula - que corresponde à cera epicuticular e é originada pela deposição de ceras na superfície da cutícula - pode apresentar diversas morfologias (Metcalf & Chalk, 1979), o que pode influenciar a permeabilidade e molhabilidade da superfície da folha (Fahn, 1990). Características da superfície foliar podem estar relacionadas com a tolerância de determinadas espécies (Tuffi Santos *et al.*, 2006), e alterações micromorfológicas antecedem o aparecimento de danos visíveis (Tuffi Santos *et al.*, 2007a), demonstrando que estudos microscópicos fornecem dados adicionais relevantes.

Segundo alguns autores (Sandberg *et al.*, 1980; D'Anieri *et al.*, 1990; Satichivi *et al.*, 2000; Monquero *et al.*, 2004) demonstra que a tolerância de plantas ao glyphosate ocorre devido à penetração ou translocação diferencial deste herbicida na planta. As taxas de absorção foliar de herbicidas e, conseqüentemente, sua eficácia estão diretamente ligadas aos tipos de estruturas encontradas na folha e à permeabilidade da cutícula (Baker, 1982), que por sua vez depende da constituição e da polaridade desta. Estudos demonstram que nos estômatos e na base dos tricomas a cutícula é mais fina e mais permeável a substâncias polares (menor teor de cera epicuticular), sendo uma via de penetração de herbicidas (Hess & Falk, 1990; Schreiber, 2005). Esse fato pode favorecer a penetração do glyphosate em plantas onde a presença dessas estruturas epidérmicas seja frequente.).

2.5 Nicosulfuron

O nicosulfuron é um herbicida do grupo químico das sulfoniluréias e utilizado para controle em pós-emergência de monocotiledôneas e dicotiledôneas, principalmente, na cultura do milho. Este herbicida inibe a acetolactato sintase (ALS), primeira enzima de biossíntese dos aminoácidos leucina, valina e isoleucina (BABCZINSKI; ZELINSKI, 1991). A ação do herbicida ocorre após rápida absorção e translocação para as regiões meristemáticas e de tecidos em desenvolvimento, onde a enzima ALS é mais ativa (JAKELAITIS *et al.*, 2006).

Segundo Mansano (2016), o nicosulfuron foi introduzido no mercado dos Estados Unidos em 1990, e têm sido utilizado devido sua alta eficiência em doses baixas, baixa toxicidade para mamíferos e boa seletividade para várias culturas de importância econômica, como o milho. Porém, para o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2015), o nicosulfuron é um herbicida mediamente tóxico para seres humanos e um produto perigoso ao meio ambiente, agrupado na classe III.

Esse herbicida é seletivo à cultura do milho, devido a metabolização do composto por tolerância diferencial. Porém, é recomendado que se considere não utilizar doses acima de 60 g ha⁻¹, e que não sejam realizadas aplicações de fertilizante nitrogenado e inseticidas organofosforados num intervalo de sete dias após a aplicação, pois nesses casos, dependendo do híbrido utilizado, pode ocorrer fitotoxicidade à cultura do milho (GALON *et al.*, 2010).

No contexto dos sistemas consorciados, como a integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) o nicosulfuron, aplicado em subdoses, é o herbicida mais utilizado para a supressão do crescimento das plantas forrageiras (BORGHI; CRUSCIOL, 2007; JAKELAITIS *et al.*, 2005, 2006; TIMOSSO, 2009), sendo este recomendado também para o controle de plantas daninhas, quando do cultivo de milho nesses sistemas (ZAGONEL, 2013; FERREIRA, 2013; SANTOS, 2015). Tal fato, pode ser explicado devido ao seu amplo espectro de controle, com ação mais pronunciada sobre gramíneas (ALVARENGA *et al.*, 2008).

A competitividade inicial entre as culturas consorciadas pode ser amenizada com adoção de práticas culturais, como o arranjo espacial de plantas (OLIVEIRA *et al.*, 1996), associando estes métodos culturais aos métodos químicos que consistem na aplicação de herbicidas que vão inibir a taxa de crescimento da forrageira, como o nicosulfuron (SILVA *et al.*, 2009). De acordo com Brighenti *et al.*, 2011 a dose recomendada para controle de capim-marandu até dois perfilhos em consórcio com a cultura do milho é 60 g ha⁻¹. Já avaliando o consórcio de *Brachiaria ruziziensis* (capim-ruziziensis) com 3-4 perfilhos e girassol

utilizando 8 g ha⁻¹ de nicosulfuron conseguiu resultados satisfatórios na redução do crescimento do capi-ruzziensis e a competição com o girassol (BRIGHENTI, 2012).

As plantas do gênero *Brachiaria*, em sua maioria, são suscetíveis ao nicosulfuron, sofrendo efeitos como nanismo, amarelecimento e necrose dos ápices, desenvolvimento de bordas foliares cloróticas, nervuras avermelhadas e clorose internerval (MARCHI, 2008). Guimarães et al. (2008) reportam que os sintomas de injúrias são aparentes por vários dias após a aplicação, sendo que após a absorção as plantas param o crescimento quase que instantaneamente.

Alguns autores relatam que a produtividade de milho em sistema plantio direto, em alguns casos, não foi influenciada pela presença da forrageira, porém, em outros casos, houve necessidade da aplicação de nicosulfuron em subdoses para reduzir o crescimento da forrageira e garantir pleno desenvolvimento do milho (ALVARENGA *et al.*, 2011; COBUCCI *et al.*, 2003; PARIZ *et al.*, 2011; FREITAS, 2013; JAKELAITIS, 2005).

Vários trabalhos reportam o potencial produtivo de milho em consorcio com *B. brizantha*. Jaquelaitis *et al.* (2005) comprovaram que aplicações de subdoses (2,0 g ha⁻¹, 4,0 g ha⁻¹ e 6 g ha⁻¹) do nicosulfuron permitiu ótimo crescimento e desenvolvimento do milho, com produtividade de grãos semelhante ao cultivo solteiro além de bom crescimento da forrageira.

Estudando a produção final de grãos de milho, Freitas (2013), constatou redução de aproximadamente 5% da massa de grãos do milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em relação à testemunha de milho solteiro, na presença da subdose de nicosulfuron de 8 g ha⁻¹. Enquanto que na ausência do produto a queda na produção superou os 15%. Esses resultados podem ser explicados pela boa seletividade do milho ao nicosulfuron e pela alta eficiência desse herbicida em reduzir o crescimento da *B. brizantha*, quando aplicado em subdose. Em estudo semelhante ao de Freitas (2013), Grigolli *et al.* (2018), utilizando subdoses de nicosulfuron (2,0 g ha⁻¹, 4,0 g ha⁻¹ e 6 g ha⁻¹) constataram que o herbicida não afetou de forma significativa o número de plantas e nem a massa seca total por hectare de *Brachiaria ruzziensis* consorciadas com milho. Já Santos *et al.* (2015) avaliaram três espécies forrageiras, *B. decumbens* cv. Basilisk, *B. brizantha* cv. Marandu e *B. brizantha* cv. Piata, cultivadas em diferentes arranjos de plantio e diferentes manejos de plantas daninhas (atrazine isolado ou atrazine + nicosulfuron) em sistemas agrossilvipastoris (ILPF) com milho, eucalipto e acácia e observaram que a aplicação da subdose do nicosulfuron em mistura com a atrazine além de controlar as plantas daninhas da família *Poaceae*, favoreceu o crescimento das plantas de milho, nos sistemas consorciados, pela redução da competição com as

forrageiras cultivadas. Ainda nesse trabalho, os autores reportam que os manejos de plantas daninhas não influenciaram a produtividade de grãos de milho de cada sistema (sistema agrossilvipastoril e monocultivo), possivelmente, pelo espaçamento de 0,8 m entre fileiras do milho e das forrageiras cultivadas na entrelinha do eucalipto.

Tiburcio *et al.* (2012), avaliando a deriva de duas doses do herbicida nicosulfuron, $1,8\text{g ha}^{-1}$ e $3,6\text{g ha}^{-1}$ em dois clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, com três meses de idade, constatou que a deriva da aplicação de nicosulfuron no milho cultivado em consórcio afetou o crescimento das plantas de eucalipto, limitando, principalmente, o incremento em massa de matéria seca da parte aérea.

Embora o nicosulfuron seja seletivo para a cultura do milho, ele é tóxico para a cultura do sorgo, como encontrado por Brighenti *et al.* (2011), que ao testar duas subdoses de nicosulfuron (4 e 8 g ha^{-1}), observaram danos severos às plantas de sorgo. A hidrólise é a quebra ou alteração da cadeia molecular de materiais com cadeia carbônica, causada pela água a uma certa temperatura (Piske, 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em vasos de polietileno mantidos em casa de vegetação no Campus JK da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, em Diamantina-MG, situada à latitude 18° 14' 58" S e longitude 43° 36' 01" W, com 1.183 m de altitude. O clima é classificado como Cwb (tropical de altitude), segundo Köppen (1948). A temperatura média foi de 21,8 °C, com máxima de 39 °C e mínima de 9 °C no interior da casa de vegetação durante a realização do experimento, correspondente a agosto de 2016 e janeiro de 2017.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (6x5)+1, sendo seis tempos de armazenamento da solução do herbicida nicosulfuron (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) aplicado na *Brachiaria brizantha* Stapf cv. marandu (capim-marandu) (syn. *Urochloa brizantha*), e cinco épocas de avaliação 0, 7, 14, 21 e 60 dias após aplicação do herbicida (DAA), mais testemunha sem aplicação.

Cada unidade experimental foi constituída de um vaso contendo 7L de solo. O solo foi classificado como latossolo vermelho-amarelo distrófico e textura argiloso-arenosa, apresentando as seguintes características químicas: pH em H₂O = 5,12; P = 1,02 mg dm⁻³; K = 25,30 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 0,4 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,2 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,76 cmol_c dm⁻³; H+Al = 5,20 cmol_c dm⁻³; SB = 0,66 cmol_c dm⁻³; MO = 0,70 dag kg⁻¹; Areia = 47%; Argila = 53%; Silte = 12%. Após análise das características do solo foram aplicados a cada 100 kg de solo, 120 g de calcário dolomítico, 500 g de superfosfato simples, 30 g de sulfato de amônia e 60 g cloreto de potássio (RIBEIRO et al., 1999).

O capim-marandu foi semeado nos vasos com solo corrigido, na profundidade de 1 cm, sendo desbastadas cerca de 20 dias após semeadura (DAS), deixando duas plântulas por vasos. Aos 120 DAS foi realizado a aplicação do herbicida, momento em que as plantas de capim-marandu apresentavam cerca de 63 cm de altura e 32 perfilhos. Utilizou-se o produto comercial Sanson 40 na dose recomendada pelo fabricante para controle de *Brachiaria* na cultura do milho (60 g ha⁻¹ de nicosulfuron) em plantas com até 2 perfilhos, com auxílio de um pulverizador costal, munido com um bico de jato plano ("leque") XR 11002, à pressão constante de 210 kPa, aplicando um volume de solução equivalente a 200 L ha⁻¹. A irrigação das plantas foi realizada diariamente, mantendo-se a umidade do solo próximo a 80% da capacidade de campo. A cada 14 dias, a contar do desbaste, foram efetuadas adubações em

cobertura com 2,5 g da formulação 20-05-20 (N-P₂O₅-K₂O) por vaso. As demais espécies de plantas que ocorreram nos vasos foram eliminadas manualmente.

Para o preparo das soluções herbicida, inicialmente foram enumerados recipientes translúcidos de polietileno com volume de dois litros e envolvidos com papel alumínio, para evitar o efeito da radiação ultravioleta na qualidade da água. Posteriormente realizou-se a preparação de cada solução herbicida, em ordem decrescente segundo os tempos de armazenamento. Assim, no momento da aplicação (tempo 0) a solução relacionada a 72 horas, encontrava-se armazenada por três dias. Este método foi adotado visando a aplicação de todos os tratamentos simultaneamente, evitando-se possível interferência de fatores adversos com datas de aplicação diferentes. Todas as soluções foram preparadas com água de torneira (não tratada) a temperatura de 24 °C. O resultado da análise físicoquímica da água pode ser observado no Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de elementos químicos e pH da água utilizada no preparo das soluções. Diamantina – MG, 2016.

pH	mg L ⁻¹						
	Cálcio	Magnésio	Silício	Sódio	Potássio	Manganês	Cloro
	5,45	6,12	4,79	3,97	1,21	0,73	12,01

Avaliação de pH da solução do herbicida nicosulfuron

Foi avaliado o pH da água antes da adição do herbicida (água pura) e o pH da solução após a diluição e armazenamento do herbicida, no momento da aplicação. Para tal, foi utilizado o aparelho medidor de pH microprocessado de bancada mpa 210 ms tecnopon.

Avaliação de intoxicação do capim-marandu

Foram realizadas avaliações de intoxicação das plantas de capim-marandu, aos 0, 7, 14, 21 e 60 DAA, por meio de observações visuais, atribuindo-se notas de 0 a 100, sendo 0 ausências de intoxicação e 100, mortes das plantas. Esse procedimento foi realizado por dois avaliadores “às cegas” (EWRC, 1964).

Avaliação de crescimento do capim-marandu

Aos 0, 7, 14, 21 e 60 DAA, avaliou-se altura das duas plantas de capim-marandu por unidade experimental, utilizando uma régua graduada. A altura foi avaliada da base da touceira ao ápice das folhas (dossel).

Avaliação de produção do capim-marandu

Aos 60 DAA, as duas plantas de capim-marandu de cada vaso foram colhidas ao nível do solo, sendo pesada a massa verde total. Posteriormente, foi contado o número de perfilhos basais e perfilhos aéreos vivos e medidos o comprimento de 15 perfilhos de cada. Após a separação, contagem e medição, realizou-se a secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 60 °C até peso constante, para determinação da massa seca.

Avaliações fisiológicas do capim-marandu

As avaliações referentes as trocas gasosas e fluorescência da clorofila foram realizadas aos 0, 7, 14, 21 e 60 DAA, nas duas plantas do vaso, realizando três medições por planta. Essas avaliações foram realizadas na primeira folha completamente expandida, com lígula visível, de três perfilhos por planta.

Para avaliação das características de eficiência fotoquímica do fotossistema II foi utilizado o aparelho fluorímetro (Junior-Pam, Walz). Em cada vaso, foram medidos o terço médio das primeiras folhas completamente expandidas que foram previamente marcadas. A medição da fluorescência da clorofila foi realizada após 30 minutos de adaptação ao escuro, sendo as avaliações realizadas no período noturno sem qualquer interferência de luz, tendo apenas a emissão de um pulso de luz saturante de 0,3 s, sob frequência de 0,6 KHz do aparelho, permitindo a determinação da fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), a razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima (Fv/Fm) e a taxa de transporte de elétrons (ETR), a partir da medição do aparelho acoplado a um notebook.

As avaliações referentes às trocas gasosas foram realizadas utilizando um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCpro - SD (Portable Photosynthesis System), entre 8 e 10 horas da manhã, de forma que mantivesse as condições ambientais homogêneas durante as avaliações. As variáveis avaliadas foram consumo de CO₂, carbono interno (Ci), condutância estomática de vapores de água (Gs), pressão de vapor na câmara subestomática, taxa de transpiração (E) e taxa fotossintética (A), sendo calculada ainda a eficiência do uso da água (UE) pela relação entre quantidade de CO₂ fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada.

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas entre os tempos de armazenamento da solução e épocas de avaliação por meio do teste de Tukey e regressão, adotando 5% de significância.

Utilizou-se o programa estatístico PROC MIXED do SAS. Os dados de intoxicação, crescimento e fisiologia das plantas de capim-marandu foram analisados de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + T_j + C \times T_{ij} + e_{ij}$$

em que Y_{ij} é o valor da variável dependente; μ é a média geral; C_i é o efeito fixo de tempo de armazenamento ($i = 1$ a 6); T_j é efeito fixo da época de avaliação ($j = 1$ a 5); $C \times T_{ij}$ é o efeito da interação dos fatores; e o e_{ij} é o erro residual. Quando o efeito de tempo de armazenamento e época de avaliação foram significativos, as comparações foram feitas usando o teste de Tukey e regressão. Para a época de avaliação, quando detectado efeito significativo, os dados foram submetidos a uma análise de regressão.

Os dados de produção do capim-marandu foram analisados de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_i = \mu + C_i + e_i$$

em que Y_i é o valor da variável dependente; μ é a média geral; C_i é o efeito fixo de tempo de armazenamento ($i = 1$ a 6); e o e_i é o erro residual. Quando o efeito de tempo de armazenamento foi significativo, as comparações foram feitas usando o teste de Tukey. As diferenças foram declaradas quando $p < 0,05$.

A testemunha adicional foi comparada por meio do teste de Dunnet. As diferenças foram declaradas quando $p < 0,05$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação de pH da solução

Foi observado efeito significativo ($p < 0,0001$) de tempo de armazenamento para os valores de pH da solução herbicida. Os valores do pH da água sem herbicida (testemunha) e da solução do herbicida nicosulfuron, de acordo com o tempo de armazenamento, encontra-se na Tabela 1. Observou-se uma diminuição significativa do pH da água após a adição do herbicida, com valores decrescentes até 72 horas. O herbicida nicosulfuron promoveu uma acidificação da solução. Além disso, quanto maior o tempo de armazenamento da solução do herbicida, menor foi o pH, sendo que essa redução foi de 0,27 no tempo zero e de 2,15 após 72 horas de armazenamento da solução do herbicida, em relação à testemunha. Essa redução deve-se possivelmente a hidrólise da molécula do herbicida utilizado.

Esses resultados estão de acordo com Benzi, Robotti e Gianotti (2011), que afirmam que o processo mais importante de degradação dos herbicidas dos grupos da sulfonilureias é a hidrólise, com interferência direta no pH da solução, resultando em menor pH quanto maior a hidrólise. Segundo esses mesmos autores, este processo pode reduzir a eficiência do herbicida no controle de plantas.

Tabela 2 – Valores médios de pH da água (testemunha) e da solução em diferentes tempos de armazenamento da solução do herbicida nicosulfuron

Tempos de armazenamento	pH
0 horas	6,71a*
6 horas	6,58b*
12 horas	6,42c*
24 horas	5,82d*
48 horas	5,30e*
72 horas	4,83f*
CV	12,4
Testemunha	6,98
CV	12,9

^{a-f} Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

* Diferente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de probabilidade.

Equação de regressão e coeficiente de determinação do pH em função do tempo de armazenamento da solução: $Y = 0.0002X^2 - 0,0415X + 6,758$, $R^2 = 0.99$.

Avaliação de intoxicação do capim-marandu

Foi observado efeito significativo de tempo de armazenamento ($p < 0,0001$), dias após aplicação ($p < 0,0001$) e da interação entre esses dois fatores ($p < 0,0001$) na intoxicação do capim-marandu. As equações de regressão dos tempos de armazenamento da solução em função dos dias após a aplicação do herbicida estão na Tabela 4. As equações de regressão dos dias após a aplicação do herbicida em função dos tempos de armazenamento da solução estão na Tabela 5. A intoxicação promovida pelo herbicida nicosulfuron no capim-marandu teve comportamento quadrático até 24 horas e linear quando armazenado por 48 e 72 horas de acordo com os dias após a aplicação. Já com relação ao tempo de armazenamento da solução, constatou-se maior efeito intoxicante no tempo zero de armazenamento do herbicida, observando-se decréscimo desses valores com o aumento do tempo de armazenamento (Tabelas 2 e 3). A partir desses resultados, podemos afirmar que o efeito do herbicida nicosulfuron na intoxicação de plantas de capim-marandu foi reduzido com o passar do tempo de armazenamento da solução (Tabela 4), devido, possivelmente, a reação de substituição de radicais do herbicida por hidroxilas oriundas das moléculas de água (CARVALHO, 2013).

Vários trabalhos reportam a intoxicação de plantas do gênero *Brachiaria* por nicosulfuron. Anésio et al. (2017), em estudo com plantas de *Brachiaria decumbens* e *B. ruziziensis* com aproximadamente 30 cm de altura, utilizando uma dose de 60 g ha^{-1} , constataram intoxicação de 90% em *B. ruziziensis* e 78% *B. decumbens*, aos 30 DAA. Rezende et al. (2014), relataram intoxicação do herbicida nicosulfuron em plantas de capim-marandu com 3 e 4 perfilhos em doses igual ou superior a 4 g ha^{-1} (100 mL de Sanson 40 SC®). Xavier (2017) e Rezende et al. (2014), trabalhando com a *Brachiaria ruziziensis* com 2 e 3 perfilhos, observaram que a utilização de uma subdose (12 g ha^{-1} , equivalente a 300 mL ha^{-1} de Sanson 40 SC®) do herbicida nicosulfuron promoveu um retardo no crescimento das plantas. Segundo Oliveira et al. (2011), possivelmente, a intoxicação com subdosagem ocorre pelo maior efeito do herbicida nicosulfuron em plantas sensíveis, como as do gênero *Brachiaria*, principalmente pela rápida absorção e translocação para as regiões meristemáticas, decorrente da maior atividade de herbicidas pertencentes ao sítio de atuação ALS em tecidos em desenvolvimento.

No presente estudo o tempo de armazenamento da solução em 0 horas aos 7 DAA obteve 7,5% de intoxicação das plantas de capim-marandu, já no tempo de 72 horas essa eficiência foi de apenas 1,5% de intoxicação, ocasionando uma redução em 80% de eficiência do herbicida na intoxicação dessas plantas. Nesta mesma avaliação aos 7 DAA, a partir de 24

horas de armazenamento a intoxicação foi semelhante a testemunha, evidenciando a ausência do efeito do herbicida após 24 horas de armazenamento. Aos 14 DAA, o tratamento de 0 horas resultou em intoxicação de 22,50% nas plantas de capim-marandu, já no tempo de 72 horas essa intoxicação foi de apenas 12,5%, ocasionando em uma redução em 44,5% de eficiência do herbicida na intoxicação dessas plantas com o armazenamento. Já aos 21 DAA, o tratamento de 0 horas resultou em intoxicação de 33,33% nas plantas de capim-marandu, já no tempo de 72 horas de armazenamento essa intoxicação foi de apenas 15,8%, ocasionando uma redução de 52,6% na eficiência do herbicida na intoxicação dessas plantas. Quando observamos a intoxicação das plantas de capim-marandu aos 60 DAA, em 0 horas foi observado uma intoxicação de 67,5% e as 72 horas, 45,83%, apresentando redução de eficiência do herbicida em 32,11% com armazenamento da solução por três dias.

O resultado encontrado pode ser explicado devido o nicosulfuron ser um herbicida ácido sofrendo dissociação a medida que permanece armazenado em água e acidificando a solução (Tabela 1), reduzindo o efeito do mesmo sobre as plantas alvos de controle (MANCUSO *et al.*, 2011; CARVALHO, 2013). Além disso, os baixos índices de intoxicação do capim – marandu deve – se ao desenvolvimento das plantas no momento da aplicação (63 cm e 32 perfilhos), a qual a dose de 60 g ha⁻¹ do herbicida se comporta como subdose para plantas com esse desenvolvimento, já estabelecidas.

Avaliação de crescimento do capim-marandu

Foi observado efeito significativo para os dias após aplicação ($p < 0,001$), já para o efeito de tempo de armazenamento ($p < 0,2971$) e da interação entre esses dois fatores ($p < 0,8326$) não foi observado efeito significativo para a altura das plantas. O efeito do nicosulfuron na altura das plantas de capim-marandu pode ser observado na Tabela 3. As equações de regressão dos tempos de armazenamento da solução em função dos dias após a aplicação do herbicida estão na Tabela 4. As equações de regressão dos dias após a aplicação do herbicida em função dos tempos de armazenamento da solução estão na Tabela 5. As plantas apresentaram comportamento quadrático para a altura com o passar dos dias após a aplicação do herbicida (Tabela 4). Para a testemunha, com o passar dos dias as plantas continuaram crescendo normalmente. Devido à alta sensibilidade dessas plantas ao herbicida, mesmo com 72 horas de armazenamento da solução, todas as plantas apresentaram redução em altura com a aplicação do herbicida.

Tabela 3 – Valores médios de percentual de intoxicação e altura de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes tempos de armazenamento da solução (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) e a testemunha sem aplicação, avaliadas aos 0, 7, 14, 21 e 60 dias após a aplicação do herbicida

Tempos de armazenamento	Dias após a aplicação					P-valor	
	0	7	14	21	60	Linear	Quadrático
Intoxicação (%)							
0 horas	0Ea	7,50Da*	22,50Ca*	33,33Ba*	67,50Aa*	<0,001	<0,001
6 horas	0Ea	5,83Dab*	21,66Ca*	28,33Ba*	63,33Aab*	<0,001	<0,001
12 horas	0Ea	4,66Dabc*	19,16Cab*	27,50Ba*	57,50Ab*	<0,001	0,002
24 horas	0Ea	3,16Dbc	16,66Cab*	25,83Bab*	55,83Abc*	0,124	0,131
48 horas	0Da	2,16Cbc	14,16Bb*	19,16Bbc*	49,16Acd*	<0,001	0,083
72 horas	0Da	1,50Cc	12,50Bb*	15,83Bc*	45,83Ad*	<0,001	0,547
CV			101,20				
Testemunha	0A	0A	0A	0A	0A	-	-
CV			116,70				
Altura (cm)							
0 horas	64,33Aa	55,16Ba*	53,00Ba*	54,71Ba*	44,50Ca*	<0,001	<0,001
6 horas	64,50Aa	54,75Ba*	51,50Ba*	49,87BCa*	45,00Ca*	<0,001	<0,001
12 horas	63,66Aa	54,50Ba*	52,16Ba*	49,91BCa*	45,33Ca*	<0,001	<0,001
24 horas	65,00Aa	55,41Ba*	52,71Ba*	50,62BCa*	45,83Ca*	<0,001	<0,001
48 horas	64,83Aa	55,91Ba*	53,50BCa*	51,45BCa*	47,00Ca*	<0,001	<0,001
72 horas	62,83Aa	55,58Ba*	53,58BCa*	51,95BCa*	48,33Ca*	<0,001	0,006
CV			12,50				
Testemunha	61,33B	67,83AB	68,01AB	71,08A	74,33A	<0,001	0,014
CV			14,90				

^{A-E, a-d} Letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

* Diferente da testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade.

Tabela 4 – Equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2) das variáveis intoxicação, altura, fluorescência variável/fluorescência máxima (Fv/Fm) e taxa de transporte de elétrons (ETR) de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes tempos de armazenamento da solução (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) e a testemunha sem aplicação em função dos dias após a aplicação do herbicida.

Tempos de armazenamento	Equações	R^2
Intoxicação		
0 horas	$1,8686X - 0,0119X^2 - 1,7809$	0,99
6 horas	$1,6173X - 0,0089X^2 - 1,505$	0,99
12 horas	$1,5619X - 0,0095X^2 - 1,9692$	0,99
24 horas	$1,429X - 0,0076X^2 - 2,3191$	0,99
48 horas	$1,0491X - 1,581$	0,99
72 horas	$0,8494X - 1,2901$	0,99
Testemunha	0	-
Altura		
0 horas	$0,005X^2 - 0,5889X + 62,08$	0,87
6 horas	$0,0103X^2 - 0,9146X + 62,964$	0,94
12 horas	$0,0093X^2 - 0,8394X + 62,252$	0,95
24 horas	$0,0099X^2 - 0,885X + 63,51$	0,95
48 horas	$0,0091X^2 - 0,8207X + 63,451$	0,95
72 horas	$0,0074X^2 - 0,6683X + 61,708$	0,95
Testemunha	$0,5536X - 0,0059X^2 + 62,276$	0,94
Fv/Fm		
0 horas	$3 \times 10^{-5}X^2 - 0,0031X + 0,8133$	0,86
6 horas	$8 \times 10^{-5}X^2 - 0,0053X + 0,826$	0,97
12 horas	$7 \times 10^{-5}X^2 - 0,0054X + 0,824$	0,88
24 horas	$9 \times 10^{-5}X^2 - 0,0066X + 0,8066$	0,48
48 horas	$5 \times 10^{-5}X^2 - 0,004x + 0,8179$	0,85
72 horas	$2 \times 10^{-5}X^2 - 0,0018X + 0,8133$	0,47
Testemunha	$2 \times 10^{-5}X^2 - 0,0032X + 0,833$	0,96
ETR		
0 horas	$0,01X^2 - 0,5526X + 23,58$	0,99
6 horas	$0,013X^2 - 0,712X + 23,033$	0,92
12 horas	$0,0097X^2 - 0,5434X + 23,072$	0,87
24 horas	$0,0044X^2 - 0,2117X + 22,163$	0,86
48 horas	$0,0078X^2 - 0,4316X + 21,667$	0,93
72 horas	$0,0087X^2 - 0,4812X + 22,183$	0,91
Testemunha	$0,0019X^2 - 0,1766X + 25,547$	0,71

Tabela 5 – Equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2) das variáveis intoxicação, altura, fluorescência variável/fluorescência máxima (Fv/Fm) e taxa de transporte de elétrons (ETR) de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes dias após a aplicação do herbicida (DAA) em função dos tempos de armazenamento da solução.

DAA	Equações	R^2
Intoxicação		
0	0	-
7	$0,0016X^2 - 0,1905X + 7,0714$	0,97
14	$0,0019X^2 - 0,2783X + 22,628$	0,99
21	$0,0016X^2 - 0,3429X + 31,992$	0,97
60	$0,0039X^2 - 0,5628X + 66,314$	0,97
Altura		
0	$0,0605X - 0,001X^2 + 63,983$	0,66
7	$0,0289X - 0,0002X^2 + 54,736$	0,55
14	$8 \times 10^{-5}X^2 + 0,0157X + 52,217$	0,54
21	$0,0019X^2 - 0,1356X + 52,516$	0,29
60	$0,0512X - 8 \times 10^{-7}X^2 + 44,618$	0,99
Fv/Fm		
0	$0,0004X - 6 \times 10^{-6}X^2 + 0,8094$	0,16
7	$2 \times 10^{-5}X^2 - 0,0012X + 0,8129$	0,83
14	$5 \times 10^{-5}X^2 - 0,0035X + 0,7711$	0,49
21	$1 \times 10^{-5}X^2 - 0,0004X + 0,7514$	0,99
60	$5 \times 10^{-6}X^2 - 1 \times 10^{-5}X + 0,7568$	0,12
ETR		
0	$0,0007X^2 - 0,071X + 24,185$	0,80
7	$0,0145X - 0,0003X^2 + 19,157$	0,20
14	$0,0643X - 0,001X^2 + 15,788$	0,09
21	$0,1431X - 0,0019X^2 + 16,263$	0,35
60	$0,0011X^2 - 0,1118X + 26,912$	0,85

Ao se analisar o tempo de armazenamento em cada época de avaliação, constatou-se que no dia da aplicação do herbicida não foi observado diferença na altura das plantas de capim-marandu entre os tempos de armazenamento e a testemunha. No entanto, nas avaliações realizadas aos 7, 14, 21 e 60 DAA, verificou-se plantas de capim-marandu

menores onde foi aplicado o herbicida em comparação a testemunha (Tabela 3). Esses resultados demonstraram que a medição de altura pelo eixo da base da touceira ao ápice da planta é reduzido com o passar dos dias de aplicação, pelo efeito do nicosulfuron no crescimento do capim-marandu. Marques *et al.* (2017) também observaram plantas menores em *Paspalum notatum* (grama batatais) submetido ao nicosulfuron.

Avaliação de produção do capim-marandu

Foram observados efeitos significativos de tempo de armazenamento para as variáveis número de perfilho basal (NPB; $p=0,0241$) e número de perfilho aéreo (NPA; $p=0,0404$). Já para massa seca total (MST; $p=0,9079$), comprimento de perfilho basal (CPB; $p=0,0949$) e comprimento de perfilho aéreo (CPA; $p=0,9676$) não foi observado efeito significativo de tempo de armazenamento (Tabela 6).

O NPB, avaliado aos 60 DAA, aumentou de forma discreta de acordo com o tempo de armazenamento da solução herbicida. No tempo de armazenamento de 72 horas verificou-se 86,2 perfilhos e para a testemunha sem aplicação constou-se 142 perfilhos basais. De forma contrária ao observado para NPB, o NPA foi maior nas plantas no tempo zero de armazenamento da solução, apresentando em média 200 perfilhos por planta e 142 perfilhos por planta quando a solução foi armazenada por 72 horas. Para a testemunha foi observado cerca 42 perfilhos aéreos por planta (Tabela 6). Para essas duas características, todas as plantas apresentaram diferenças com a testemunha, de forma bem contrária.

A aplicação do nicosulfuron estimula o perfilhamento aéreo de plantas de capim-marandu e reduz o perfilhamento basal. Isso acontece, possivelmente, porque o herbicida nicosulfuron é um herbicida inibidor da acetolactatosintase (ALS), a enzima chave na rota de biossíntese de aminoácidos como a valina, leucina e isoleucina. Essas enzimas atuam diretamente nas áreas de crescimento apical das plantas, ou seja, atua influenciando o crescimento das plantas, além de leva-las a morte devido à falta de aminoácidos essenciais para seu desenvolvimento (OLIVEIRA *et al.*, 2011). O mecanismo de ação do herbicida nicosulfuron pode ser comprovado com os resultados encontrados nesse ensaio, em que a ação da molécula herbicida nos meristemas apicais proporcionou maior perfilhamento aéreo, devido à quebra da dominância apical. Esse perfilhamento foi menor com o tempo de armazenamento devido à hidrólise do herbicida, reduzindo o efeito da molécula sob a planta.

Anésio *et al.* (2017) trabalhando no controle de *Brachiaria ruziziensis* com o herbicida nicosulfuron na dose de 60 g ha^{-1} observaram uma redução no número de perfilhos

basais e aumento no número de perfilhos aéreos quanto comparado com a testemunha sem aplicação desse herbicida. Esse mesmo autor estudando o controle de *B. decumbens*, observaram que o nicosulfuron também proporcionou redução no número de perfilhos basais em relação à testemunha, porém, as plantas de *B. decumbens* não apresentaram perfilhamento aéreo. Portanto, o nicosulfuron altera o desenvolvimento e morfologia de gramíneas do gênero *Brachiaria*, como o capim-braquiária, capim-ruziziensis e capim-marandu, por alterar o perfilhamento e o crescimento dessas espécies.

Tabela 6 – Número de perfilhos aéreos (NPA), número de perfilhos basais (NPB), comprimento de perfilho aéreo (CPA), comprimento de perfilho basais (CPB) e massa seca total (MST) de plantas de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes tempos de armazenamento da solução (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) e a testemunha sem aplicação, avaliadas aos 60 dias após aplicação

Tempo de armazenamento	NPA	NPB	CPA	CPB	MST
0 horas	199,80a*	66,40b*	11,87a	26,61b*	332,78a*
6 horas	148,20ab*	66,60b*	11,24a	27,19ab	339,12a*
12 horas	148,30ab*	70,00ab*	11,91a	27,42ab	341,34a*
24 horas	146,30ab*	71,40ab*	11,88a	27,42ab	341,33a*
48 horas	143,50ab*	71,60ab*	11,14a	31,82a	348,06a*
72 horas	142,60b*	86,20a*	11,57a	32,10a	350,21a*
CV	23,86	16,16	16,04	15,85	7,78
Testemunha	42,20	142,00	13,40	36,45	456,85
CV	38,10	33,40	16,10	19,70	13,50
P-valor	<0,001	<0,001	0,505	0,016	<0,001

^{A-E, a-d} Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

* Diferente da testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade.

O comprimento de perfilho basal (CPB) de capim-marandu foi maior quanto maior o tempo de armazenamento do herbicida nicosulfuron, apresentado comprimento médio de 26,61 cm no tempo zero de armazenamento, 32,10 cm no tempo de 72 horas e 36,45 cm para a testemunha (sem herbicida). Somente as plantas sem armazenamento de solução herbicida apresentaram diferença em relação a testemunha sem aplicação. Porém, o CPA não variou

significativamente, apresentando média de 12 cm por perfilhos (Tabela 6). Alguns autores estudando o nicosulfuron, aplicado em subdoses, para controle de plantas forrageiras, constataram que este herbicida reduz o comprimento de perfilhos (BORGHI; CRUSCIOL, 2007; CAMARGOS, 2014; JAKELAITIS et al., 2005, 2006; TIMOSSO, 2009).

Esses resultados segundo Jakelaitis *et al.* (2006) podem ser explicados devido ao nicosulfuron ser um inibidor da síntese de aminoácidos e atuar em zonas meristemáticas em desenvolvimentos (áreas apicais de crescimento), possivelmente resultando em plantas sensíveis na alteração da relação entre o NPA e NPB, pois ocorre uma redução no crescimento de perfilhos basais e aumento nos perfilhos aéreos, pois a planta reduz o crescimento de gemas apicais principais e desenvolve o crescimento apical secundário (JAKELAITIS *et al.*, 2007).

No presente estudo, o tempo de armazenamento da solução em 0 horas resultou na média de 200 perfilhos aéreos, enquanto no tempo de 72 horas, 142 perfilhos aéreos. Esses valores demonstram que o armazenamento por 72 horas resultou em uma redução de 28,82% no perfilhamento aéreo. Já para os perfilhos basais o resultado foi inverso, onde o tempo de armazenamento de solução em 0 horas resultou em 66 perfilhos basais e no tempo de armazenamento por 72 horas, 86 perfilhos basais. Esses valores demonstram que o armazenamento por 72 horas resultou em um aumento de 30,1% no número de perfilhos basais. Sendo assim, podemos afirmar que o armazenamento da solução reduziu a eficiência do herbicida..

Observou-se que a MST nos tempos de armazenamento 0 até 72 horas foram semelhantes, sendo que, apenas para a testemunha foi observado maior valor de MST (Tabela 3). Esses resultados apontam que embora a intoxicação visual das plantas submetidas ao nicosulfuron tenha sido menor com o tempo de diluição (Tabela 2), o herbicida interferiu negativamente na produção das plantas de capim-marandu independente do tempo de armazenamento da solução. Devido à alta sensibilidade dessas plantas ao herbicida, mesmo com 72 horas de armazenamento da solução, todas as plantas reduziram a MST com a aplicação do herbicida, em relação a testemunha sem aplicação (Tabela 6). Em média a redução de produção das plantas submetidas ao nicosulfuron foi de 25% em relação as plantas sem aplicação.

De acordo com Anésio *et al.* (2017), utilizando 60 g ha⁻¹ de nicosulfuron no controle de *B. decumbens* e *B. ruziziensis* com aproximadamente 30 cm de altura, foi observado

redução na massa seca em 30% das plantas *B. decumbens* e *B. ruziziensis* onde houve aplicação do herbicida, quando comparado com as testemunhas sem aplicação do herbicida.

Avaliações fisiológicas do capim-marandu

Foi observado efeito significativo de tempo de armazenamento ($p=0,0063$) e dias após aplicação ($p<0,001$), já para a interação entre esses dois fatores ($p=0,2436$) não ocorreu efeito significativo para os valores de Fv/Fm (Tabela 7). As equações de regressão dos tempos de armazenamento da solução em função dos dias após a aplicação do herbicida estão na Tabela 4. As equações de regressão dos dias após a aplicação do herbicida em função dos tempos de armazenamento da solução estão na Tabela 5. Apesar do efeito significativo na relação Fv/Fm das plantas de capim-marandu, foram observados valores próximo da faixa ótima, indicando a ausência de estresse fisiológico (BOLHAR-NORDENKAMPF *et al.*, 1989). O rendimento quântico máximo do fotossistema II na fotossíntese pode variar de 0,75 a 0,85 elétrons quantum⁻¹ em plantas não submetidas a estresses, sendo a redução desta razão um excelente indicador de efeito fotoinibidor quando as plantas estão submetidas ao estresse químico (ARAUS e HOGAN, 1994).

Com relação aos dias após a aplicação do herbicida, foi observado comportamento quadrático para os valores de Fv/Fm com o passar dos dias (Tabela 4). Para os tempos de armazenamento de 0, 12 e 24 horas e a testemunha, a relação Fv/Fm apresentou comportamento linear decrescente com o passar dos dias. Para os tempos de armazenamento de 6 e 48 horas o comportamento foi quadrático com o passar dos dias.

Silveira *et al.* (2017), estudando o controle de *B. ruziziensis* e *B. decumbens*, observaram que a relação Fv/Fm reduziu quando as plantas foram submetidas a aplicação dos herbicidas glyphosate e fluazifop-p-butyl, sendo que a redução com o glyphosate foi na primeira semana e ocasionou a morte das plantas na segunda semana e quando as plantas foram tratadas com fluazifop-p-butyl observou-se redução da relação Fv/Fm até 30 dias após aplicação do herbicida, sendo que, durante todos os períodos de avaliação a relação Fv/Fm manteve-se abaixo da faixa ideal para essa variável, para ambas espécies estudadas.

Para a variável taxa de transporte de elétrons (ETR) foi observado efeito significativo para os dias após aplicação ($p<0,001$), e não foram observados efeitos de tempo de armazenamento ($p=0,1957$) e da interação entre esses dois fatores ($p=0,8107$) (Tabela 6). Com relação aos dias após a aplicação do herbicida, foi observado comportamento quadrático

para os valores de ETR com o passar dos dias (Tabela 4). No dia da aplicação do herbicida e aos 60 DAA não foi observado diferença significativa entre os tempos de armazenamento e a testemunha para a ETR, evidenciando uma possível recuperação da planta dos efeitos do herbicida aos 60 DAA. Enquanto que aos 7, 14 e 21 DAA, observou-se diferença significativa em relação a testemunha, onde os maiores valores de ETR foram observados no tratamento sem herbicida e menores valores nos tratamentos com utilização do herbicida. Esse padrão de resposta se deve, possivelmente, a uma diminuição da atividade da cadeia transportadora de elétrons ou uma saturação dos carreadores de elétrons (MOHAMMED et al., 1995).

Tabela 6 – Valores médios de fluorescência variável/fluorescência máxima (Fv/Fm; elétrons quantum⁻¹) e taxa de transporte de elétrons (ETR; $\mu\text{Mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de plantas de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes tempos de armazenamento da solução (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) e a testemunha sem aplicação, avaliadas aos 0, 7, 14, 21 e 60 dias após a aplicação do herbicida.

Tempo de armazenamento	Dias após a aplicação (DAA)					P-valor	
	0	7	14	21	60	Linear	Quadrático
Fv/Fm (elétrons quantum⁻¹)							
0 horas	0,80Aa	0,81Aa	0,77ABa	0,75ABa	0,72Ba	<0,001	<0,001
6 horas	0,82Aa	0,80ABa	0,76ABa	0,74Ba	0,79ABa	0,785	<0,001
12 horas	0,81Aa	0,80ABa	0,74Ca	0,74Ca	0,76BCa	0,013	<0,001
24 horas	0,80Aa	0,78Aa	0,74Ba	0,74Ba	0,74Ba	<0,001	0,095
48 horas	0,81Aa	0,79Aa	0,75Aa	0,76Aa	0,76Aa	0,074	0,040
72 horas	0,80Aa	0,80Aa	0,77Aa	0,79Aa	0,78Aa	0,314	0,426
CV			6,84				
Testemunha	0,83A	0,81A	0,77B	0,78B	0,77B	<0,001	0,535
CV			7,00				
Taxa de transporte de elétrons ($\mu\text{Mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)							
0 horas	23,75ABa	20,01BCa	17,60Ca*	16,65Ca*	26,48Aa	0,003	0,002
6 horas	24,40Aa	17,00Ba*	14,15Ba*	15,73Ba*	27,01Aa	<0,001	<0,001
12 horas	23,41ABa	20,20ABCa	14,96Ca*	17,61BCa	25,30Aa	0,022	<0,001
24 horas	22,73Aa	20,45Aa	18,85Aa	20,8Aa	25,16Aa	0,323	0,027
48 horas	22,31ABa	18,35ABCa*	16,16Ca*	17,11BCa*	23,73Aa	0,036	<0,001
72 horas	22,70ABa	19,10ABCa*	15,45Ca*	17,31BCa*	24,56Aa	0,041	<0,001
CV			24,68				
Testemunha	24,95A	25,83A	22,50AB	22,80AB	21,96B	0,037	0,244
CV			23,60				

^{A-E, a-d} Letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

* Diferente da testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade.

Segundo Araldi *et al.* (2011) avaliando o efeito do glyphosate na ETR em plantas *B. decumbens* verificaram redução de 5% da ETR uma hora após aplicação, 24 e 72 horas após a aplicação, a redução de 40 e 66%, respectivamente, sendo que uma redução de 85% foi alcançada 120 horas após aplicação, e a inibição se deu com 168 horas. Já Silveira *et al.* (2017) avaliando plantas de *B. decumbens* e *B. ruziziensis* com aproximadamente 30 cm de altura observaram valores de $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na primeira avaliação aos 7DAA e morte das mesmas aos 14 DAA.

Analisando os dados fisiológicos de trocas gasosas das plantas de capim-marandu, observou-se para o CO_2 consumido (ΔC), carbono interno (C_i), condutância estomática de vapores de água (G_s), pressão de vapor na câmara subestomática (E), taxa fotossintética (A) e eficiência do uso da água (EUA), efeito significativo de tempo de armazenamento ($p < 0,0001$), dias após aplicação ($p < 0,0001$) e da interação entre esses dois fatores ($p < 0,0001$) (Tabela 7) e (Tabela 10). Para as variáveis consumo de CO_2 , carbono interno e taxa de transpiração, as equações de regressão dos tempos de armazenamento da solução em função dos dias após a aplicação do herbicida estão na Tabela 8 e as equações de regressão dos dias após a aplicação do herbicida em função dos tempos de armazenamento da solução estão na Tabela 9. Foi observado comportamento quadrático para essas variáveis em função dos dias após a aplicação do herbicida (Tabela 8) e também comportamento quadrático em função dos tempos de armazenamento da solução (Tabela 9).

Com relação ao ΔC , ao observou-se as épocas de avaliação dentro de cada tempo de armazenamento, verificou-se de modo geral um comportamento quadrático do ΔC com o passar dos dias após a aplicação do herbicida, onde os maiores valores de ΔC foram observados no dia da aplicação do herbicida e os menores na última avaliação, aos 60 DAA. Ao se analisar o efeito de tempo de armazenamento da solução aos 60 DAA, observaram-se menores valores no tempo de armazenamento de 0 horas e um comportamento quadrático de acordo com o tempo de armazenamento. Aos 7 e 14 DAA, verificou-se que ΔC foram superiores na testemunha e menores nos demais tratamentos. Aos 21 dias menores valores de ΔC foram observados para 12 e 24 horas de diluição diferindo da testemunha e do tratamento 0 e 72 horas de diluição (Tabela 7). Segundo David (2017) o consumo de CO_2 pelas plantas está diretamente relacionado ao metabolismo das mesmas no momento da avaliação, onde plantas intoxicadas com herbicidas tem perdas na eficiência metabólica e conseqüentemente consumindo menos CO_2 . Manabe *et al.* (2014), observaram em plantas de feijoeiro cultivadas

isoladamente um maior consumo de CO₂ em comparação às plantas da cultura cultivadas em competição ou com aplicação de herbicidas.

Em relação ao carbono interno (Ci), analisando-se o efeito de dias após a aplicação do herbicida observa-se um aumento com o passar dos dias, com menores valores observou-se no dia da aplicação do herbicida e os maiores valores aos 60 DAA, exceto para a testemunha que não apresentou diferença com o passar dos dias. Ao se analisar o tempo de armazenamento da solução, observou-se que no dia da aplicação do herbicida não foi observado diferença significativa entre os tempos de armazenamento e também com a testemunha. Na segunda época, aos 7 DAA, verificou-se o maior valor de Ci, para o tempo de zero horas de armazenamento. Já aos 21 e 60 DAA, foi observado uma tendência de diminuição do Ci com o aumento no tempo de armazenamento da solução (TAB. 7). A estimativa de Ci é considerada uma variável fisiológica influenciada por fatores ambientais, como disponibilidade hídrica, luz e energia, entre outros. Porém, Silveira *et al.* (2013) avaliando mandioca aos 45 DAA com o herbicida mesotrione, verificou que em estudos onde o déficit hídrico e o sombreamento não foram fatores limitantes ao metabolismo das plantas, provavelmente os resultados sejam atribuídos ao efeito do herbicida no metabolismo de assimilação do carbono.

Observou-se redução com o passar dos dias após a aplicação do herbicida na taxa de transpiração (E). Para E, foram encontrando maiores valores no dia da aplicação do herbicida e menores valores aos 7, 14, 21 e 60 DAA (Tabela 7). No dia da aplicação do herbicida não foram observadas diferenças entre os tempos de armazenamento e a testemunha. Aos 7, 14, 21 e 60 DAA, foram observadas diferenças significativas entre os tempos de armazenamento para E (TAB. 7).

Tabela 7 – Valores médios de Consumo de CO₂, Carbono interno e Taxa de transpiração de plantas de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes tempos de armazenamento da solução (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) e a testemunha sem aplicação, avaliadas aos 0, 7, 14, 21 e 60 dias após a aplicação do herbicida

Tempo de armazenamento	Dias após a aplicação (DAA)					P-valor	
	0	7	14	21	60	Linear	Quadrático
Consumo de CO₂ (ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$)							
0 horas	79,66Aa	29,47Ba*	21,36BCa*	34,05Ba	11,63Cbc*	<0,001	0,008
6 horas	68,33Aab	31,00Ba*	23,50Ba*	20,00Bcd*	7,50Bc*	<0,001	0,005
12 horas	52,33Ab	26,16Ba*	21,16Ba*	12,50Ce*	12,33Cbc*	<0,001	<0,001
24 horas	59,16Aab	35,83Ba*	16,83Ca*	14,00Cde*	9,66Cbc*	<0,001	<0,001
48 horas	47,50Ab	35,16Ba*	20,16Ca*	22,16Cbc*	17,16Cab*	<0,001	<0,001
72 horas	49,83Ab	35,33Ba*	25,33Ca*	26,33Cb*	24,66Ca	<0,001	<0,001
CV			70,31				
Testemunha	58,33A	49,67B	39,33C	32,83C	31,33C	<0,001	0,001
CV			64				
Carbono interno (Ci - $\mu\text{mol mol}^{-1}$)							
0 horas	135,34Ba	279,36Aa	313,72Aab*	340,13Aa*	303,52Aab*	<0,001	<0,001
6 horas	143,00Ba	155,33Bb	251,00Ab*	313,83Aab*	320,16Aa*	<0,001	<0,001
12 horas	180,16BCa	159,83Cb	289,16Aab*	271,83Abc	257,00ABbc	0,022	0,003
24 horas	170,5Da	229,50Cab	317,16Aa*	264,33BCc	305,16ABa*	<0,001	<0,001
48 horas	177,00Ba	192,50Bab	287,00Aab*	292,66Aabc	283,16Aabc	0,002	<0,001
72 horas	182,33Ba	234,50Aab	278,33Aab*	261,50Ac	249,83Ac	0,013	<0,001
CV			28,57				
Testemunha	150,5B	245,83A	207,83AB	263,5A	253,66A	0,002	0,002
CV			27,6				
Taxa de transpiração (E - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)							
0 horas	2,65Aa	2,09ABcd	1,41BCab	0,90Cbc	0,85Cbc*	<0,001	<0,001
6 horas	2,56Ba	4,80Aa*	1,96Cab	1,42Da	0,66Ec*	<0,001	0,246
12 horas	2,27Aa	1,89Bd	1,12Cc*	0,71Dc*	0,61Dc*	<0,001	<0,001
24 horas	2,58Ba	3,48Ab*	1,02Cc*	0,94Cbc	0,72Cbc*	<0,001	0,001
48 horas	2,20ABa	2,95Abc	2,03BCa	1,35CDa	1,04Dab	<0,001	0,253
72 horas	2,43Aa	2,75Abcd	1,18Bcb	1,1Bab	1,07Ba	<0,001	0,004
CV			57,81				
Testemunha	2,19A	2,65A	1,55B	1,21B	1,29B	<0,001	0,006
CV			55,3				

A-E, a-d Letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

* Diferente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de probabilidade.

Tabela 8 – Equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2) das variáveis consumo de CO_2 , carbono interno e taxa de transpiração de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes tempos de armazenamento da solução (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) e a testemunha sem aplicação em função dos dias após a aplicação do herbicida.

Tempo de armazenamento	Equações	R^2
Consumo de CO_2		
0 horas	$0,0359X^2 - 3,057X + 66,786$	0,70
6 horas	$0,0405X^2 - 3,6409X + 79,524$	0,78
12 horas	$0,0349X^2 - 2,5549X + 48,834$	0,93
24 horas	$0,0379X^2 - 3,0567X + 56,991$	0,97
48 horas	$0,022X^2 - 1,8037X + 46,363$	0,93
72 horas	$0,0331X^2 - 2,4112X + 50,065$	0,99
Testemunha	$0,0218X^2 - 1,7894X + 60,752$	0,99
Carbono interno		
0 horas	$13,483X - 0,1847X^2 + 157,66$	0,91
6 horas	$121,15 - 0,129X^2 + 11,083X$	0,92
12 horas	$8,0719X - 0,1143X^2 + 159,97$	0,64
24 horas	$7,6204X - 0,0933X^2 + 181,84$	0,74
48 horas	$8,5755X - 0,1103X^2 + 166,11$	0,89
72 horas	$8,5828X - 0,1241X^2 + 181,77$	0,99
Testemunha	$6,545X - 0,085X^2 + 170,72$	0,68
Taxa de transpiração		
0 horas	$0,0014X^2 - 0,1125X + 2,7198$	0,99
6 horas	$0,0007X^2 - 0,0927X + 3,5535$	0,50
12 horas	$0,0013X^2 - 0,1046X + 2,3711$	0,97
24 horas	$0,0015X^2 - 0,1323X + 3,144$	0,65
48 horas	$0,0004X^2 - 0,0518X + 2,6165$	0,66
72 horas	$0,0012X^2 - 0,1001X + 2,7324$	0,70
Testemunha	$0,0009X^2 - 0,0743X + 2,5651$	0,67

Tabela 9 – Equação de regressão e coeficiente de determinação (R^2) das variáveis consumo de CO_2 , carbono interno e taxa de transpiração de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes dias após a aplicação do herbicida (DAA) em função dos tempos de armazenamento da solução.

DAA	Equações	R^2
Consumo de CO_2		
0	$0,011X^2 - 1,1283X + 74,769$	0,79
7	$0,2462X - 0,002X^2 + 28,256$	0,57
14	$0,0032X^2 - 0,2279X + 22,711$	0,52
21	$0,0092X^2 - 0,6854X + 26,671$	0,41
60	$0,0034X^2 - 0,0458X + 10,503$	0,89
Carbono interno		
0	$1,695X - 0,0163X^2 + 141,32$	0,70
7	$0,0367X^2 - 2,4462X + 224,1$	0,18
14	$0,6057X - 0,0102X^2 + 287,04$	0,07
21	$0,03X^2 - 2,6564X + 324,05$	0,54
60	$298,14 - 0,0071X^2 - 0,1093X$	0,35
Taxa de transpiração		
0	$0,0002X^2 - 0,0144X + 2,6237$	0,41
7	$0,0338X - 0,0004X^2 + 2,5163$	0,10
14	$0,0154X - 0,0002X^2 + 1,163$	0,11
21	$0,0177X - 0,0001X^2 + 0,6095$	0,61
60	$8 \times 10^{-5}X^2 + 9 \times 10^{-5}X + 0,7242$	0,68

Para as variáveis Gs, A e EUA as equações de regressão dos tempos de armazenamento da solução em função dos dias após a aplicação do herbicida estão na Tabela 11 e as equações de regressão dos dias após a aplicação do herbicida em função dos tempos de armazenamento da solução estão na Tabela 12. Ao se analisar a condutância estomática de vapores de água (Gs) de acordo com os dias após a aplicação do herbicida, observou-se comportamento quadrático da Gs com o passar dos dias (TAB. 11). Esse comportamento provavelmente ocorreu pelo fato da condutância estomática ser um parâmetro que indica o estresse, pois as plantas possuem a capacidade de controlar a abertura estomática para responder rapidamente a um ambiente em transformação (TAIZ e ZEIGER, 2013). Todavia, avaliando o tempo de armazenamento da solução em cada época de avaliação, observou-se que na avaliação no dia da aplicação e aos 7 DAA, não ocorreu diferença entre os tempos de

armazenamento. Aos 7 DAA todas as médias dos tempos de armazenamento distinguiram da testemunha, apresentando menores valores. Aos 14 DAA, o tempo de armazenamento de zero e seis horas apresentaram os menores valores de Gs. Já aos 60 DAA os maiores valores de Gs foram observados para os tratamentos de 48 e 72 horas de armazenamento e para a testemunha. Tais aumentos do Gs podem estar relacionados à hidrólise do herbicida nos maiores tempos de diluição e à possibilidade de recuperação das plantas ao estresse causado pelo herbicida.

A condutância estomática é responsável pelo fluxo de entrada e saída de água e CO₂ pelos estômatos, quanto menor sua abertura, maior a resistência estomática e consequente diminuição na transpiração (TAIZ & ZEIGER, 2017), ou seja, o comportamento da condutância estomática influencia na transpiração. Campelo *et al.* (2015) avaliaram as trocas gasosas e a eficiência fotoquímica do fotossistema II em plantas adultas de gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*), guanandi (*Calophyllum brasiliense Cambess.*), ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius*) ipê-rosa (*Handroanthus impetiginosa*), marupá (*Simarouba amara*) e mogno (*Swietenia macrophylla*) e verificaram que a redução das taxas fotossintéticas estiveram correlacionadas com o fechamento estomáticos, mas nem sempre as reduções nas taxas de fotossíntese acompanhou a reduções na concentração interna de CO₂ (Ci), fato que evidenciaria a existência de limitações estomáticas.

Observou-se comportamento quadrático da taxa fotossintética (A) (TAB. 11) com o incremento dos dias após a aplicação, sendo os maiores valores observados no dia da aplicação do herbicida. Observou-se que no dia da aplicação não houve diferença entre os tempos de armazenamento em relação a testemunha. Na avaliação aos 7 DAA, verificou-se redução do valor de A com a aplicação do herbicida em relação a testemunha e não foi observado diferença entre os tempos de armazenamento da solução. Aos 14 DAA foi observado os menores valores para 0, 24 e 48 horas e todos diferiram da testemunha. Aos 21 DAA, a testemunha (sem herbicida) apresentou os maiores valores de A em relação aos tempos de 0, 6, 12, 24 e 48 horas. Na avaliação aos 60 DAA, foi observado os maiores valores de A para a testemunha e o tempo de armazenamento de 72 horas, demonstrando uma diminuição do efeito do herbicida de acordo com o aumento no tempo de armazenamento da solução possibilitando recuperação das plantas (TAB. 10). Silva *et al.* (2015) verificou o mesmo comportamento da taxa fotossintética em plantas de pequi submetidas a doses de glyphosate. Nas plantas submetidas à maior dose (1.500 g e.a. ha⁻¹) houve queda na taxa de fotossíntese de 55 e 63% as 24 e 240 horas após aplicação. Já Santos *et al.* (2014) observou

redução contínua na taxa de fotossíntese em todos os biótipos tratados com 1.440 g ha^{-1} de glyphosate nas avaliações.

Com relação a eficiência do uso da água (EUA), na primeira avaliação não foi observado diferença com relação a testemunha e os menores valores foram para 48 e 72 horas. Na segunda avaliação, aos 7 DAA, verificou-se redução dos tratamentos 0, 24 e 72 horas em relação em relação a testemunha e semelhança aos demais tempos de armazenamento da solução. Aos 14 DAA, a testemunha (sem herbicida) apresentou valores de EUA semelhantes aos tempos de 12 e 72 horas de armazenamento. Aos 21 DAA, não foi observado diferença com a testemunha. Aos 60 DAA, o tempo de armazenamento de 12 e 72 horas foi semelhante a testemunha. Possivelmente ocorreu uma recuperação das plantas após aplicação do herbicida devido a hidrólise da molécula herbicida resultando em menor absorção do herbicida pelas plantas.

Quando observamos a taxa fotossintética e a eficiência do uso da água notamos que na época de avaliação aos 21 e 60 DAA no tempo de 72 horas não diferiu da testemunha, já para o tempo de zero hora nessas mesmas épocas de avaliação foi observado diferença com a testemunha, evidenciando que a planta não teve sua fotossíntese afetada após 72 horas de armazenamento, possivelmente, devido a hidrólise que ocorreu no herbicida, pois nessa mesma época de avaliação no tempo de armazenamento de zero horas foi observado diferença com a testemunha.

Nas trocas gasosas, a absorção de CO_2 do meio externo provoca perda de água e a diminuição dessa perda também restringe a entrada de CO_2 (SHIMAZAKI *et al.*, 2007). Essa interdependência evidenciada pela relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência instantânea no uso da água (EUA), onde os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água que perde (TAIZ & ZEIGER, 2017). Esse processo é influenciado pelas condições climáticas, porém, quando há um estresse como os herbicidas, pode haver queda nas taxas fotossintéticas, resultando em menores rendimentos.

Tabela 10 – Valores médios das variáveis de condutância estomática, taxa fotossintética e eficiência no uso da água de plantas de capim-marandu submetidas anicosulfuron com diferentes tempos de armazenamento da solução (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) e a testemunha sem aplicação, avaliadas aos 0, 7, 14, 21 e 60 dias após a aplicação do herbicida.

Tempo de armazenamento	Dias após a aplicação (DAA)					P-valor	
	0	7	14	21	60	Linear	Quadrático
Condutância estomática de vapores de água (Gs – mol m⁻¹ s⁻¹)							
0 horas	0,23Aa	0,10Aa*	0,12Ab	0,19Aa	0,07Aab*	0,177	0,879
6 horas	0,20Aa	0,18Aa*	0,11Bb	0,12Ba	0,06Cb*	0,006	0,574
12 horas	0,18Aa	0,10ABa*	0,14Aab	0,06Bb*	0,05Bb*	0,003	0,012
24 horas	0,20Aa	0,16Ba*	0,15Bab	0,06Cb*	0,06Cab*	<0,001	<0,001
48 horas	0,15ABa	0,10Ba*	0,18Aa	0,16ABa	0,10Ba*	0,069	0,705
72 horas	0,16Aa	0,10Ba*	0,14ABab	0,11Bab	0,10Ba*	0,035	0,282
CV	61,52						
Testemunha	0,16B	0,27A	0,14B	0,18B	0,15B	0,314	0,909
CV	59,3						
Taxa fotossintética (A - μmol m⁻² s⁻¹)							
0 horas	22,26Aa	7,57BCa*	5,78BCb*	8,10Ba*	3,73Cbc*	<0,001	0,002
6 horas	21,90Aa	9,99Ba*	7,57Bab*	6,39BCabc*	2,32Cc*	<0,001	0,005
12 horas	16,76Aa	8,43Ba*	6,81Bab*	4,00Cc*	3,99Cbc*	<0,001	<0,001
24 horas	18,93Aa	11,43Ba*	5,39Cb*	4,09Cc*	3,22Cbc*	<0,001	<0,001
48 horas	15,23Aa	11,35Ba*	5,23Cb*	7,18Cbc*	5,47Cab*	<0,001	<0,001
72 horas	15,98Aa	9,07Ba*	8,28Ba*	8,23Ba	7,95Ba	0,001	<0,001
CV	73,82						
Testemunha	17,02A	14,81AB	12,63B	10,59B	10,01B	<0,001	0,009
CV	66,5						
Eficiência do uso da água (EUA – mol CO₂ mol H₂O⁻¹)							
0 horas	9,28Aa	2,43Bb*	4,83ABbc*	5,65ABab	4,18ABc*	0,529	0,311
6 horas	8,37Aab	5,32Ba	3,84Bbc*	4,69Bab	3,52Bc*	0,003	0,001
12 horas	7,48Aab	4,54Bab	6,06ABab	5,56ABab	6,52Aab	0,736	0,437
24 horas	7,41Aab	3,32Cb*	5,28Bbc*	4,43BCb	4,31BCc*	0,055	0,022
48 horas	6,99Ab	3,92Bab	2,81Bc*	5,28ABab	5,31ABbc*	0,988	0,008
72 horas	6,54Bb	3,09Cb*	7,58Aa	7,47Aa	7,43Aa	0,074	0,298
CV	56,86						
Testemunha	7,82A	5,53B	8,09A	8,75A	7,79A	0,282	0,132
CV	51,4						

A-E, a-d Letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

* Diferente da testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade.

Tabela 11 – Equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2) das variáveis consumo de CO_2 , carbono interno e taxa de transpiração de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes tempos de armazenamento da solução (0, 6, 12, 24, 48 e 72 horas) e a testemunha sem aplicação em função dos dias após a aplicação do herbicida.

Tempos de armazenamento	Equações	R^2
Condutância estomática		
0 horas	$2 \times 10^{-5} X^2 - 0,0027X + 0,1874$	0,36
6 horas	$0,2121 - 0,001X$	0,58
12 horas	$7 \times 10^{-5} X^2 - 0,0059X + 0,1633$	0,52
24 horas	$9 \times 10^{-5} X^2 - 0,0076X + 0,2078$	0,90
48 horas	$0,0024X + 0,1359$	0,43
72 horas	$- 0,003X + 0,1526$	0,43
Testemunha	$0,2138 - 7 \times 10^{-5} X^2 - 0,0005X$	0,11
Taxa fotossintética		
0 horas	$0,0145X^2 - 1,1697X + 22,189$	0,68
6 horas	$0,013X^2 - 1,1664X + 25,498$	0,79
12 horas	$0,0112X^2 - 0,8181X + 15,661$	0,94
24 horas	$0,0125X^2 - 1,0004X + 18,304$	0,98
48 horas	$0,0076X^2 - 0,6097X + 14,831$	0,86
72 horas	$0,0113X^2 - 0,8044X + 15,42$	0,95
Testemunha	$0,0051X^2 - 0,4329X + 17,69$	0,98
Eficiência do uso da água		
0 horas	$- 0,2068X + 7,234$	0,26
6 horas	$0,0032X^2 - 0,2592X + 7,7197$	0,81
12 horas	$- 0,1107X + 6,7289$	0,44
24 horas	$0,002X^2 - 0,1543X + 6,3736$	0,37
48 horas	$0,0026X^2 - 0,1638X + 6,0079$	0,34
72 horas	$- 0,1X + 5,6728$	0,43
Testemunha	$0,0815X - 0,0011X^2 + 6,8639$	0,18

Tabela 12 – Equação de regressão e coeficiente de determinação (R^2) das variáveis condutância estomática, taxa fotossintética e eficiência do uso da água de capim-marandu submetidas ao nicosulfuron com diferentes dias após a aplicação do herbicida (DAA) em função dos tempos de armazenamento da solução.

DAA	Equações	R^2
Condutância estomática		
0	$2 \times 10^{-5} X^2 - 0,0023X + 0,2243$	0,76
7	$0,002X - 2 \times 10^{-5} X^2 + 0,0828$	0,23
14	$0,0031X - 4 \times 10^{-5} X^2 + 0,106$	0,78
21	$5 \times 10^{-5} X^2 - 0,0034X + 0,1458$	0,25
60	$7 \times 10^{-6} X^2 + 0,0001X + 0,0637$	0,74
Taxa fotossintética		
0	$0,0042X^2 - 0,4198X + 24,888$	0,78
7	$0,2183X - 0,0026X^2 + 7,0096$	0,89
14	$0,0009X^2 - 0,0529X + 5,9687$	0,86
21	$0,0028X^2 - 0,1903X + 7,7826$	0,49
60	$0,0011X^2 - 0,0113X + 3,3462$	0,89
Eficiência do uso da água		
0	$0,0007X^2 - 0,0789X + 8,895$	0,88
7	$0,0346X - 0,0006X^2 + 3,6741$	0,14
14	$0,0008X^2 - 0,0579X + 5,2119$	0,12
21	$0,0006X^2 - 0,0395X + 5,4251$	0,47
60	$0,0005X^2 + 0,0024X + 4,5304$	0,47

O armazenamento da solução de nicosulfuron por 0 horas resultou em perda de eficiência de 46% quando comparado ao tempo de 72 horas sobre a redução da taxa fotossintética das plantas de capim-marandu aos 60 DAA. Já para os resultados da EUA ocorreu uma perda na eficiência de 56,25% quando comparamos o tempo de armazenamento da solução de zero horas e 72 horas de armazenamento. Esse resultado pode ser devido o nicosulfuron ser um herbicida ácido e sofrer dissociação com a água, reduzindo sua efetividade sobre o metabolismo das plantas devido a reação de substituição de radicais do herbicida por hidroxilas oriundas das moléculas de água com o passar do tempo (MANCUSO *et al.*, 2011; CARVALHO, 2013).

5. CONCLUSÃO

O tempo de armazenamento da solução herbicida afeta diretamente no pH da água, onde quanto maior esse tempo menor será o pH da água e menor os níveis de intoxicação das plantas de capim-marandu, sem todavia, interferir no tamanho das plantas. O aumento do tempo de armazenamento da solução herbicida reduz o perfilhamento aéreo e aumenta o basal. O armazenamento da solução do herbicida nicosulfuron afeta os parâmetros fisiológicos: CO_2 consumido, taxa de transpiração, taxa fotossintética e eficiência do uso da água aumentando seus valores.

6. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C. et al. Rendimento do consórcio milho e *Brachiaria brizantha* afetado pela localização do adubo e aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n.3, p. 224–234, 2011.

ANÉSIO, A. H. C. et al. Herbicide selectivity to signal grass and congo grass. **Planta Daninha**, v. 35, n. 0, p. 1–12, 2017.

ARALDI, R. et al. Análises de fluorescência e consumo de água em *brachiaria decumbens* após aplicação de herbicidas em pós-emergência. **Planta Daninha**, v. 29, p. 1053–1060, 2011.

ARAUS, J. L.; HOGAN, K. P. Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms. *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearing and forest understory during the dry season in Panama. **Journal Botanic.**, v. 81, n. 6, p. 726-738, 1994.

BABCZINSKI, P.; ZELINSKI, T. Mode of Action of Herbicidal Als-Inhibitors on Acetolactate Synthase from Green Plant-Cell Cultures, Yeast, and *Escherichia-Coli*. **Pesticide Science**, v. 31, n. 3, p. 305–323, 1991.

BAKER, E. A. Chemistry and morphology of plant epicuticular waxes. In: CUTLER, D. F.; ALVIN, K. L.; PRICE, C. E. (Ed.). **The plant cuticle**. London: Academic Press, 1982. p. 140-161.

BENZI, M.; ROBOTTI, E.; GIANOTTI, V. HPLC-DAD-MS to investigate the photodegradation pathway of nicosulfuron in aqueous solution. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 399, n. 4, p. 1705–1714, 2011.

BERTRAND, C. et al. Flazasulfuron alcoholysis, chemical hydrolysis, and degradation on various minerals. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 51, p. 7717-7721, 2003.

BLAIR, A. M.; MARTIN, T. D. A review of the activity fate and mode of action of sulfonylurea herbicides. **Pesticide Science**, v. 22, p. 195-219, 1988.

BRIGHENTI, A. M.; NICODEMOS, L. C.; SOUZA SOBRINHO, F.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E. Seletividade de herbicidas à cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Milho**

e **Sorgo**, 10 p, 2011.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll Fluorescence as a Probe of the Photosynthetic Competence of Leaves in the Field: A Review of Current Instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, n. 4, p. 497, 1989.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 163–171, 2007.

BRAZEE, R.; REICHARD, D.; BUKOVAC, M.; FOX, R. A partitioned energy transfer model for spray impaction on plants. *Journal of Agriculture Engineers Research*. v. 50, p.11-24, 1991.

BROWN, H. M. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. **Pesticide Science**, v. 29, n. 3, p. 263-281, 1990.

BRIGHENTI, A. M.; NICODEMOS, L. C.; SOUZA SOBRINHO, F.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E. Seletividade de herbicidas à cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 10 p, 2011.

CAMPELO, D. D. H. et al. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 973–983, 2015.

CARVALHO, L. B. De. **Herbicidas**. 1ª ed. Lages. 73 p. 2013.

CARVALHO, F. K.; ANTUNIASSI, U. R.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; KRUGER, G. R. Blade angle effect on droplet size spectrum of rotary atomizers used in Brazil. *Engenharia Agrícola*. v. 36, n. 6, p. 1118-1125, 2016.

CAMPOS, H. B. N.; FERREIRA, M. C.; ALMEIDA, D. P. Pulverizadores Inteligentes. **Cultivar Máquinas**. v. 148, p. 16-17, 2015.

CREECH, C. F. HENRY, R. S.; WERLE, R.; SANDELL, L. D.; HEWITT, J.; KRUGER, G. R. Performance of postemergence herbicides applied at different carrier volume rates. *Weed Technology*. v. 29, n. 3, p. 611-624, 2015a.

CREECH, C. F. HENRY, R. S.; FRITZ, B. K.; KRUGER, G. R. Influence of herbicide active

ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. **Weed Science Society of America**. v. 29, p. 298-310, 2015

COBUCCI, T.; PORTELA, C. M. O. Manejo de herbicidas no sistema Santa Fé e na braquiária como fonte de cobertura morta. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 443-458.

DAVID, F. A. **Efeito da competição de plantas daninhas e de herbicidas na morfofisiologia da erva-mate (*Ilex paraguariensis*)**. Tese doutorado. 2017. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2017.

D'ANIERI, P. et al. Glyphosate translocation and efficacy relationships in red maple, sweet gum and loblolly pine seedlings. **Forest Sci.**, v. 36, p. 438-447, 1990.

EBERT, T.; DOWNER, R. Insecticide application: the dose transfer process. **Encyclopedia of Entomology**. p. 1958-1974, 2008.

FAHN, A. **Plant anatomy**. 4.ed. Oxford: Pergamon Press, 1990. 588 p.

FREITAS, M. A. M. DE. **Impacto do consórcio milho-braquiária no crescimento, características nutricionais e fisiológicas do milho e na atividade da microbiota do solo**. Tese de doutorado. 2013. Universidade Federal de Viçosa, 2013.

FREITAS, M. A. . et al. Levels of nutrients and grain yield of maize intercropped with signalgrass (brachiaria) in different arrangements of plants. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 49-56, 2015.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; KRUGER, G. R.; HENRY, R. S.; HEWITT, A.; CZACZYK, Z., Comparison of drop size data from ground and aerial application nozzles at three testing laboratories. **Atomization Sprays**. v. 24, n. 2, p. 181-192, 2014.

GALON, L. et al. Avaliação do método químico de controle de papuã (*Brachiaria plantaginea*) sobre a produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 40, n. 4, p. 414-421, 2010.

GRIGOLLI, J. F. J.; GITTI, D. de C.; LOURENÇÃO, A. L. F. Controle de plantas de soja e supressão do capim em milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 84, n. 0, p. 1-7, 2018.

HAY, J. V. Chemistry of sulfonylurea herbicides. **Pesticide Science**, v. 29, n. 3, p. 247-261, 1990.

HEREDIA, A. La cutícula vegetal: estructura y funciones. **Ecologia**, v. 12, p. 293-305, 1998.

HESS, F. D.; FALK, R. H. Herbicide deposition on leaf surfaces. **Weed Sci.**, v. 38, n. 3, p. 280-288, 1990.

JAKELAITIS, A. et al. Efeitos de herbicidas no consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 69–78, 2005.

JAKELAITIS, A. et al. Efeitos de herbicidas no controle de plantas daninhas, crescimento e produção de milho e *Brachiaria brizantha* em consórcio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 53–60, 2006.

KROLIKOWSKI, V. **Comportamento morfo-fisiológico de *Commelina Benghalensis* em resposta a herbicidas aplicados em pós-emergência**. Tese doutorado. 2015. Universidade de São Paulo, 2015.

MOHAMED, G.H.; BINDER, W.D.; GILLES, L. Chlorophyll fluorescence: a review of its practical forestry applications and instrumentation. **Scandinavian Journal of Forage Research**, Escandinávia, v.10, p.383-410, 1995.

MANABE, P. M. S. et al. Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas. **Bioscienci Journal**, [s. l.], v. 30, n. 6, p. 1721–1728, 2014.

MANCUSO, M.A.C. ET AL. Efeito residual de herbicida no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicida**. v.10. n 2. p 151-164. 2011.

MANSANO, A. S. **Efeitos dos agrotóxicos diuron e carbofuran , isolados e em mistura , sobre organismos aquáticos e avaliação de risco ecológico**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos, 2016.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso. **Documentos**, p. 36, 2008.

MARQUES, R. P. et al. Seletividade De Herbicidas À Grama Batatais E Sua Relação Com

As Características Anatômicas Foliare. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. 2, p. 67–75, 2017.

MERRITT, C.; GRAHAM, B.; DAR, W.; JAVED, Z. Comparison of spray losses in laboratory and field situations. *Aspect of Applied Biologist*. v. 21, p.137-146, 1989.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. New York: Oxford University Press, 1979. 276 p.

MONQUERO, P. A. et al. 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.

MORO, F.V;FILHO, C.F.D. Alterações morfo-anatômicas das folhas de milho submetidas á aplicação de nicosulfuron. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, 1999

OLIVEIRA, I. et al. **Sistema Barreirão: Recuperação/ renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais**. EMBRAPA-Cerrado. ed. Goiânia. v. 64. 1996.

OLIVEIRA, M. F.; PRATES, H. T.; SANS, L. M. A. Sorção e hidrólise do herbicida flazasulfuron. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 101–113, 2005.

OLIVEIRA, A. A. De et al. Produção de grãos e forragem na consorciação de cultivares de milho e capins. **Scienci Technology**., v. 4, n. 2, p. 58–67, 2011.

PARIZ, C. M. et al. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 5, p. 875–882, 2011.

PISKE, F. Perda de resistência: O fenomeno da hidrolise. Engenharia de processos. **Albany Internacional**. 7p. 2002.

PROCÓPIO, S. O. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 150 p.

RAMOS, H. H.; DURIGAN, J. C. Efeito do armazenamento da solução na eficácia de herbicidas aplicados em: I. Pós-emergência. **Planta Daninha**, v. 16, n. 2, p. 175–185, 1998.

RAMOS, H. H.; DURIGAN, J. C. Efeito do armazenamento da solução na eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência (parte II). **Planta Daninha**, v. 17, n. 1, p. 21–30, 1999.

REICHARD, D. L. Drop formation and impact on the plant. *Weed Technology*. v. 2, p. 82-87, 1988.

REZENDE, P. N. et al. Eficiência de herbicidas aplicados em pós-emergência em milho consorciado com *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 8, n. 3, p. 345–351, 2014.

SANDBERG, C. L.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Absorption, translocation and metabolism of ¹⁴C-glyphosate in several weed species. **Weed Res.**, v. 20, p. 195-200, 1980.

SANTOS, F. M. et al. Effect of glyphosate on the physiological parameters of horseweed. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 519–525, 2014.

SANTOS, M. V. et al. Componentes produtivos do milho sob diferentes manejos de plantas daninhas e arranjos de plantio em sistema agrossilvipastoril. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1545–1550, 2015.

SATICHIVI, N. M. et al. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Scienc**, v. 48, p. 675-679, 2000.

SCHREIBER, L. Polar paths of diffusion across plant cuticles: new evidence for an old hypothesis. **Ann. Bot.**, v. 95, p. 1069-1073, 2005.

SCHWARZENBACH, R.P., P.M. GSCHWEND AND D.M. IMBODEN, 1993. **Environmental Organic Chemistry**. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1993. 681 pp.

SHIMAZAKI, K.I. et al. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.58, p.219-247, 2007.

SILVA, R. D. A. et al. Interferência de subdoses de glyphosate nas trocas gasosas em picão-preto e trapoeraba. **Scienci Technology**, v. 8, n. 1, p. 31–39, 2015.

SILVEIRA, H. M. et al. Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação

do mesotrione. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 403–409, 2013.

SILVEIRA, R. R. et al. Fluorescência da clorofila em *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria ruziziensis* submetidas a herbicidas. **Planta Daninha**, v. 35, n. 0, 2017.

SMITH, A. E.; AUBIN, A. J. Degradation of [¹⁴C] amidosulfuron in aqueous buffers and in an acidic soil. **Journal Agricultural Food Chemical.**, v. 41, n. 12, p. 2400-2403, 1993.

TIBURCIO, R. A. S. et al. Growth of eucalyptus clones seedlings submitted to simulated drift of different herbicides. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 65–73, 2012.

TIMOSSI, P. Manejo de rebrotes de *Digitaria insularis* no plantio direto de milho. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 175–179, 2009.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. 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. et al. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. **Environment Experiment Botanic**, v. 59, n. 1, p. 11-20, 2007a.

URIO, R. D. P. **Desenvolvimento e avaliação de métodos de extração e separação cromatográfica em colunas monolíticas e superficialmente porosas para determinação de herbicidas triazínicos em solos e águas.** Tese de doutorado. 2015. Universidade de São Paulo, 2015.

XAVIER, N. A. **Retardo no crescimento de plantas de *Urochloa ruziziensis* com herbicidas na cultura do milho.** Tese de doutorado. 2017. Universidade Federal de Goiás, 2017.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Doses e épocas de aplicação de regulador de crescimento em híbridos de milho. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 395–402, 2013.