

MÁRCIO FURRIELA DIAS

**TAXA DE CRESCIMENTO, CURVA DE DOSE-RESPOSTA E AVALIAÇÃO DA
METABOLIZAÇÃO DE AMICARBAZONE POR BIÓTIPOS DE
Cyperus rotundus L.**

Botucatu

2020

MÁRCIO FURRIELA DIAS

**TAXA DE CRESCIMENTO, CURVA DE DOSE-RESPOSTA E AVALIAÇÃO DA
METABOLIZAÇÃO DE AMICARBAZONE POR BIÓTIPOS DE
Cyperus rotundus L.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Proteção de Plantas).

Orientador: Prof. Dr. Caio Antonio Carbonari

Botucatu

2020

D541t

Dias, Márcio Furriela

Taxa de crescimento, curva de dose-resposta e avaliação da
metabolização de amicarbazone por biótipos de *Cyperus rotundus* L. /

Márcio Furriela Dias. -- Botucatu, 2020

87 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Caio Antonio Carbonari

1. desamino-amicarbazone. 2. N-Methylated des-amino. 3.
Metabólitos. 4. Herbicidas inibidores do fotossistema II. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências
Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: TAXA DE CRESCIMENTO, CURVA DE DOSE-RESPOSTA E AVALIAÇÃO DA METABOLIZAÇÃO DE AMICARBAZONE POR BIÓTIPOS DE *Cyperus rotundus* L.

AUTOR: MARCIO FURRIELA DIAS

ORIENTADOR: CAIO ANTONIO CARBONARI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PROTEÇÃO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI
Departamento de Produção Melhoramento Vegetal-FCA/UNESP / Botucatu/SP



Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP - Câmpus de Botucatu



Prof. Dr. ALFREDO JÚNIOR PAIOLA ALBRECHT
Setor Palotina / Universidade Federal do Paraná

Botucatu, 27 de janeiro de 2020.

À minha mãe Rita Furriela Dias, meu pai Mauricio Dias, irmão Vinícius Furriela Dias e companheira Ana Elisa Cavichioli Carmona, por juntos, serem meu espelho, meu chão e fonte de força e motivação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por me acompanharem e guiarem.

Aos meus pais Rita e Maurício, ao meu irmão Vinicius e namorada Ana Elisa pelo apoio incondicional.

A todos meus familiares, em especial meus avós, pelos valiosos ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Caio Antonio Carbonari, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professor.

Ao Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini, pela orientação, disponibilidade e auxílio durante a elaboração deste estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Proteção de Plantas) da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu-SP, pela oportunidade e formação.

Aos amigos do Nupam, Tiago Gazola, Edicarlos Castro, Diego Belapart, Natalia Bevilaqua, Renato Costa, Jonas Ferrari, Ivana Ferraz, Leandro Bianchi, Vitor Muller, Izabela Thais, Fábio Krenchinski, Vinicius Caneppele e Bruno Flaibam que contribuíram direta ou indiretamente na realização dos experimentos.

Aos amigos do Laboratório, José Guilherme Cordeiro, José Roberto Marques da Silva, Marcelo Siono e Gisleide Nunes Santos pela amizade e colaborações nas atividades realizadas.

Aos amigos de República, Luís Gustavo Simões e Priscila Medeiros, Jhonatan Cavalieri, Vinicius Molina, Thassio Monteiro e Janaína Prieto, Leonardo França, Angelo Thompson, Mateus Leme, Gustavo Barzotto e Francisco Junior, pelos ótimos momentos de convivência.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A tiririca (*Cyperus rotundus*) é uma planta daninha altamente problemática em todo o mundo. No Brasil infesta as mais diversas culturas e pode causar grandes prejuízos aos produtores, principalmente em culturas de crescimento inicial lento, como a cana-de-açúcar. A tiririca pode se propagar via sementes, tubérculos e rizomas, sendo importante a realização do seu controle. O amicarbazone é um herbicida, inibidor do fotossistema II, amplamente utilizado na cultura da cana-de-açúcar, para o controle de mono e dicotiledôneas, porém não há indicação para o controle de tiririca. Portanto o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o crescimento de biótipos de *C. rotundus*, avaliar o desenvolvimento desses biótipos quando submetidos às doses de amicarbazone em pré-emergência e quantificar a presença dos metabólitos desamino-amicarbazone (DA) e N-Methylated des-amino (N-Me DA) sob aplicação em pós-emergência. Foram realizados três experimentos em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. O primeiro experimento foi conduzido em casa de vegetação, com 9 tratamentos. Cinco tubérculos de cada biótipo foram plantados e as plantas foram avaliadas quanto ao número de plantas, massa fresca e seca da parte aérea, número de tubérculos, massa fresca e massa fresca média de tubérculos aos 90 dias após o plantio (DAP), 30 tubérculos, oriundos desse ensaio foram plantados e avaliados 30 DAP em número de plantas produzidas e brotação dos tubérculos. Para o segundo experimento foram utilizados 9 biótipos e 6 doses do herbicida amicarbazone (0; 262,5; 525; 1050; 2100; 4200 g i.a. ha⁻¹) em pré-emergência. As plantas foram avaliadas quanto a taxa de transporte de elétrons (ETR) aos 14; 21 e 30 dias após a aplicação (DAA), número de plantas, massa fresca e seca produzidas aos 30 DAA. O terceiro experimento, contou com a avaliação dos 9 biótipos sob efeito da dose de 1050 g i.a. ha⁻¹ de amicarbazone aplicado 30 DAP. As seguintes avaliações foram realizadas: ETR as 6, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 240, 288, 336, 408, 456, 504 e 576 horas após a aplicação (HAA); número de plantas; massa seca da parte aérea; número de tubérculos produzidos; massa fresca dos tubérculos; análise da concentração de amicarbazone (AMK), DA e N-Me DA nas partes aéreas das plantas coletadas as 168 e 576 HAA. Identificou-se que os biótipos não apresentaram um padrão único de crescimento e há efeito da quebra da dominância apical em todos os biótipos estudados. Houve redução da ETR para todos os biótipos

sob efeito das doses do herbicida aplicado em pré-emergência, os biótipos sob efeito das doses AMK também apresentaram o efeito da quebra da dominância apical, no entanto as massas não diminuíram proporcionalmente ao aumento das doses do herbicida. Constatou-se a redução da ETR, os biótipos apresentaram capacidades diferenciais de absorção e metabolização do herbicida, a aplicação do amicarbazone em pós-emergência, apesar de não proporcionar controle da espécie, reduziu a quantidade de massa seca da parte aérea, número e massa fresca dos tubérculos de tiririca.

Palavras-chave: desamino-amicarbazone. N-Methylated des-amino. Metabólitos. Herbicidas inibidores do fotossistema II.

ABSTRACT

Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) is a highly problematic weed worldwide. In Brazil it infests the most diverse crops and can cause great damage to producers, especially in slow-growing crops such as sugar cane. Purple nutsedge can propagate by seeds, tubers and rhizomes, and its control is important. Amicarbazone is a photosystem II inhibitor herbicide, widely used in sugarcane to control grasses and dicotyledons, but there is no indication to control purple nutsedge. Therefore, this study aimed to characterize different *C. rotundus* biotypes growth, to evaluate the development of these biotypes when subjected to different amicarbazone doses in the pre-emergence application and quantify the presence of desamino-amicarbazone (DA) and N-Methylated des-amino (N-Me DA) metabolites in post-emergence application. Three experiments were conducted as a completely randomized design, with five replications. The first experiment was conducted in a greenhouse with 9 treatments. Five tubers of each biotype were planted and the plants were evaluated for number of plants, fresh and dry weight aboveground, number of tubers, fresh weight and average fresh weight of tubers at 90 days after planting (DAP), 30 tubers from this trial were planted and evaluated after 30 DAP in number of plants produced and sprouting of tubers. The second experiment was implemented in a 9 x 6 design (biotypes x doses), with amicarbazone at doses of 0; 262.5; 525; 1050; 2100; 4200 g i.a. ha⁻¹ in pre-emergence application. Plants were evaluated for electron transport rate (ETR) at 14; 21 and 30 days after application (DAA), number of plants, fresh and dry mass produced at 30 DAA. The third experiment was evaluated by 9 biotypes under the effect of 1050 g i.a. ha⁻¹ of amicarbazone applied 30 DAP. The following evaluations were performed: ETR at 6, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 240, 288, 336, 408, 456, 504 and 576 hours after application (HAA); number of plants; dry mass aboveground; number of tubers; fresh mass of tubers; concentration analysis of amicarbazone (AMK), DA and N-Me DA in plants collected at 168 and 576 HAA. It was identified that the biotypes did not show a unique growth pattern and there is an effect of breaking apical dominance in all studied biotypes. ETR was reduced for all biotypes under different doses of herbicide applied in pre-emergence, biotypes under the effect of different AMK doses also had the effect of breaking apical dominance, however the masses did not decrease proportionally to the increase in doses of the herbicide. ETR reduction was

observed, the biotypes showed differential herbicide absorption and metabolization capacities, the post-emergence application of amicarbazone, did not control the species, however, it reduced dry mass aboveground, number and fresh mass from the tubers of purple nutsedge.

Keywords: desamino-amicarbazone. N-Methylated des-amino. Metabolites. Photosystem II inhibitor herbicides.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas geográficas e municípios onde os biótipos de <i>Cyperus rotundus</i> (L.) foram coletados no ano de 2016	34
Tabela 2 – Condições cromatográficas utilizadas para quantificação dos compostos analisados	40
Tabela 3 – Massa molecular dos compostos e fragmentos analisados	41
Tabela 4 – Deposição (DEP), absorção (ABS) e quantificação de Amicarbazone (AMK), e seus metabólitos: desamino-amicarbazone (DA) e N-Methylated des-amino (N-Me DA) na umidade externa e na parte aérea das plantas aos 7 DAA, nos biótipos sob aplicação do herbicida amicarbazone em pós-emergência da planta daninha (Vaçpres de Deposição, Teor interno, AMK, DA e N-Me DA em µg. g. massa seca)	72
Tabela 5 – Quantificação de Amicarbazone (AMK) e seus metabólitos: desamino-amicarbazone (DA) e N-Methylated des-amino (N-Me DA) na parte aérea das plantas e nos tubérculos, aos 24 dias após a aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone em pós-emergência da planta daninha.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágio das plantas de <i>Cyperus rotundus</i> (L.) no dia da aplicação de amicarbazone (30 DAP)	38
Figura 2 – Cromatograma do composto Amicarbazone (3.125ng. ml ⁻¹)	42
Figura 3 – Cromatograma do composto desamino-amicarbazone (3.125ng. ml ⁻¹)	42
Figura 4 – Cromatograma do composto N-Methylated des-amino (3.125ng. ml ⁻¹) ...	43
Figura 5 – Massa média dos tubérculos plantados (g) para os biótipos de <i>Cyperus rotundus</i> (L.)	44
Figura 6 – Número de plantas dos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) produzidas de em 90 DAP	45
Figura 7 – Massas fresca e seca da parte aérea (g) para os biótipos de tiririca <i>C. rotundus</i> (L.) produzidas em 90 dias após o plantio (DAP)	46
Figura 8 – Número de tubérculos produzidos pelos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) em 90 DAP	47
Figura 9 – Massa fresca de tubérculos produzidos pelos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) aos 90 DAP	47
Figura 10 – Massa fresca média dos tubérculos produzidos aos 90 DAP pelos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.)	48
Figura 11 – Número de plantas produzidas, a partir de 30 tubérculos oriundos do primeiro experimento, pelos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) aos 30 DAP	50
Figura 12 – Porcentagem de tubérculos brotados a partir de trinta tubérculos, oriundos do primeiro experimento, dos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) aos 30 DAP	50
Figura 13 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 1 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	52

Figura 14 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 2 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	53
Figura 15 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 3 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	54
Figura 16 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 4 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	55
Figura 17 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 5 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	56
Figura 18 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 6 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	57
Figura 19 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 7 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	58
Figura 20 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 8 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	59
Figura 21 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 9 de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	60
Figura 22 – Média da taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA dos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone	62
Figura 23 – Número de plantas produzidas aos 30 DAA pelos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação de doses do herbicida amicarbazone em pré-emergência	65

Figura 24 – Massas fresca e seca produzidas pelos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) 30 DAA das doses do herbicida amicarbazone em pré-emergência	66
Figura 25 – Taxa de transporte de elétrons (% em relação à testemunha) dos biótipos 1, 2 e 3 após a aplicação do herbicida amicarbazone na dose de 1050 g. i.a. ha ⁻¹ em pós-emergência.....	68
Figura 26 – Taxa de transporte de elétrons (% em relação à testemunha) dos biótipos 4, 5 e 6 após a aplicação do herbicida amicarbazone na dose de 1050 g. i.a. ha ⁻¹ em pós-emergência.....	69
Figura 27 – Taxa de transporte de elétrons (% em relação à testemunha) dos biótipos 7, 8 e 9 após a aplicação do herbicida amicarbazone na dose de 1050 g. i.a. ha ⁻¹ em pós-emergência.....	70
Figura 28 – Média da taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação às testemunhas) dos 9 biótipos avaliados	71
Figura 29 – Média da quantidade de amicarbazone (AMK) e seus metabólitos: desamino-amicarbazone (DA) e N-Methylated des-amino (N-Me-DA) dos biótipos entre os períodos 7 e 24 dias após a aplicação (DAA)	76
Figura 30 – Porcentagem do número de plantas dos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação da dose de 1050 g. i.a. ha ⁻¹ do herbicida amicarbazone	76
Figura 31 – Procentagem da massa seca da parte aérea dos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação da dose de 1050 g. i.a. ha ⁻¹ do herbicida amicarbazone	77
Figura 32 – Porcentagem do número de tubérculos produzidos pelos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação da dose de 1050 g. i.a. ha ⁻¹ do herbicida amicarbazone	78
Figura 33 – Porcentagem da massa fresca de tubérculos produzidos pelos biótipos de <i>C. rotundus</i> (L.) após a aplicação da dose de 1050 g. i.a. ha ⁻¹ do herbicida amicarbazone	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	Biologia da tiririca <i>Cyperus rotundus</i> (L.).....	23
2.2	Impacto econômico da tiririca <i>C. rotundus</i> (L.).....	26
2.3	Amicarbazone: características e modo de ação.....	29
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1	Experimento 1 – Avaliação da taxa de crescimento dos biótipos de tiririca <i>Cyperus rotundus</i> (L.).....	34
3.2	Experimento 2 – Curva de dose-resposta dos biótipos de tiririca <i>Cyperus rotundus</i> (L.) sob aplicação de amicarbazone em pré-emergência.....	35
3.3	Experimento 3 – Avaliação da metabolização do amicarbazone pela tiririca <i>Cyperus rotundus</i> (L.).....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	Experimento 1 – Avaliação da taxa de crescimento dos biótipos de tiririca <i>Cyperus rotundus</i> (L.).....	44
4.2	Experimento 2 – Curva de dose-resposta dos biótipos de tiririca <i>Cyperus rotundus</i> (L.) sob aplicação de amicarbazone em pré-emergência.....	51
4.3	Experimento – 3 Avaliação da metabolização do amicarbazone pela tiririca <i>Cyperus rotundus</i> (L.).....	67
5	CONCLUSÕES.....	80
	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

A tiririca *Cyperus rotundus* (L.) é uma planta daninha perene, herbácea, de baixo porte epígeo que produz um complexo sistema subterrâneo de estruturas propagativas. Essa espécie foi classificada entre as dez plantas daninhas mais problemáticas para a agricultura no mundo (WILIAN, 1973; HOLM et al., 1977). Isso ocorreu devido à alta capacidade de distribuição, competição e agressividade da espécie, além da dificuldade de controle e erradicação (KISSMANN, 1997).

A presença da *C. rotundus* ocorre no Brasil, em diversas regiões, infestando diferentes culturas como milho (Albuquerque et al., 2012), soja (Dias et al., 2018), café (Maciel et al., 2010), feijão (Tavares et al., 2013) e banana (Moura Filho et al., 2015). No entanto, a sua infestação apresenta grande importância em culturas de crescimento inicial lento, como é o caso da cana-de-açúcar (FREITAS et al., 1997).

Atualmente, para a cultura da cana-de-açúcar, a adoção do sistema de plantio direto e manutenção da palha sobre o solo proporciona mudanças na composição específica de plantas daninhas nas áreas em que é empregada (KUVA et al., 2007). Tanto a parte aérea como as subterrâneas da *Cyperus rotundus* são sensíveis ao sombreamento (KISSMANN, 1991; PATTERSON, 1984). Segundo Toledo et al. (2017) essa espécie ainda está entre as principais encontradas no cultivo da cana-de-açúcar. Ferreira et al. (2013), complementa que propágulos dessa espécie foram observados em bancos de sementes de canaviais colhidos com e sem queima.

A multiplicação dessa espécie ocorre, principalmente, via tubérculos, bulbos basais e rizomas, uma vez que, suas sementes possuem baixo poder germinativo (LORENZI, 2014). Outra característica importante é a dominância apical, que interfere diretamente na capacidade de multiplicação dessa espécie ao longo do tempo.

Os tubérculos dessa espécie apresentam dormência irregular, o que contribui para persistência das estruturas vegetativas no solo e ocasionam o difícil controle da tiririca (BALOCH et al., 2015). Essa dormência é controlada pela dominância apical das gemas dos tubérculos, que por sua vez, é regulada pelo balanço de hormônios promotores/inibidores de brotação (BELL et al., 1962; JANGAARD et al., 1971; TEO, 1974). Esse processo é de fundamental importância, pois, é por meio desse fenômeno que essa espécie reinicia o seu desenvolvimento quando sob condições adequadas (DURIGAN, 1991).

Desta forma, surge a necessidade de se realizar um manejo adequado, que combine diferentes métodos de controle das plantas de tiririca, como os métodos culturais, mecânicos, biológicos e químicos, sendo o manejo químico o que apresenta os melhores resultados (PEREIRA, 1998).

O amicarbazone é um herbicida, cuja atuação ocorre na reação de Hill, pela inibição do fotossistema II, onde há a ligação da molécula à proteína D₁, o que impossibilita o transporte dos elétrons (HESS, 2000; TOLEDO, 2004; POWLES & YU, 2010). É um herbicida amplamente utilizado na cultura da cana-de-açúcar, mesmo que, atualmente, possua registro para a cultura do milho. O uso do amicarbazone na cultura da cana-de-açúcar apresentou ótimos resultados no controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas (TOLEDO et al., 2004).

Não há, em bula, a recomendação do amicarbazone para controle da espécie *Cyperus rotundus* (L.). No entanto, Negrisoli et al. (2007), verificaram ao estudar o controle da tiririca pelo amicarbazone na presença de palha, que esse herbicida apresentou efeito no controle da espécie ao longo do tempo. Apesar de não haver recomendação, sendo o amicarbazone um dos herbicidas mais usados na cana-de-açúcar, a redução da atividade do fotossistema II nas plantas de tiririca pode reduzir o potencial de crescimento dessa espécie e contribuir em um sistema de manejo.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a taxa de crescimento de biótipos de tiririca (*C. rotundus*), o controle e efeitos nos biótipos quando submetidos a doses de amicarbazone em pré-emergência e também quantificar a presença de dois metabólitos desse herbicida nos biótipos através da aplicação em pós-emergência.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biologia da tiririca *Cyperus rotundus* (L.)

A família Cyperaceae inclui aproximadamente 5000 espécies dentro de 104 gêneros, é considerada a terceira maior em riqueza específica, dentro das monocotiledôneas (Goetghebeur, 1998). Segundo Pereira (1998), 220 espécies pertencentes a essa família já haviam sido classificadas como plantas daninhas.

Dentro dessas espécies invasoras, há destaque para a tiririca amarela *Cyperus eschulentus* L. e tiririca roxa *C. rotundus* L. (Pereira, 1998), essas espécies, segundo Hefler & Longhi-Wagner (2012), são as únicas, dentro do subgênero *Cyperus*, que possuem rizomas estoloniformes com tubérculos, o que as diferencia das demais.

A espécie *C. rotundus* L. é uma planta herbácea, perene e seu porte varia entre 15 e 50 cm. Foi considerada, por diversos autores, como a de maior amplitude de distribuição no mundo (Cudney, 1997; Holm et al., 1977), além de possuir alta capacidade de competição e características de agressividade, que dificultam seu controle e erradicação (Kissmann, 1997).

É importante mencionar que, nas áreas agrícolas brasileiras, são encontrados diversos ecotipos que apresentam diferenças morfológicas. A *C. rotundus* apresenta o número de cromossomos $2n = 108$, e possuem características semelhantes às gramíneas. No entanto, essa espécie pode ser diferenciada da *C. esculentus* pelo fato de produzirem um complexo sistema subterrâneo, que por sua vez, é formado por bulbos basais, rizomas estoloniformes e tubérculos em cadeia, na forma de corrente (Mello et al., 2003). Esses mesmos autores ressaltam que, os tubérculos e inflorescências são importantes para a correta identificação da espécie, e que, portanto, são necessárias plantas adultas com inflorescências e tubérculos desenvolvidos. Segundo Wills (1987), no terço inferior, as folhas são arranjas na forma de triângulo, o caule é triangular com as bainhas fechadas e não possuem lígula. As inflorescências apresentam colorações que podem variar de vermelha escura, roxa ou marrom.

A multiplicação da *C. rotundus* ocorre de forma sexuada (sementes) e assexuada (rizomas e tubérculos). Lorenzi (2014), afirma que a reprodução e multiplicação dessa espécie ocorre principalmente em função das estruturas subterrâneas, uma vez que, as sementes dessa espécie possuem baixo índice de germinação.

Segundo Constantin & Maciel (1999), ao analisarmos somente a parte aérea da *C. rotundus*, tem-se a falsa ideia do poder competitivo dessa espécie, logo, o conhecimento de suas estruturas subterrâneas, faz-se necessário. O simples controle da parte aérea dessa planta não elimina as principais vias de multiplicação e desenvolvimento dessa espécie, que são encontrados abaixo do solo.

Segundo Wills (1987), os rizomas são caules subterrâneos, formados a partir de um bulbo-basal, se desenvolvem paralelamente ao solo ou podem se aprofundar nele em até 40 cm, são de coloração esbranquiçada e possuem grandes entrenós, geralmente sem ramificação. Essas estruturas não possuem gemas e, portanto, não apresentam brotações. Entretanto, são de extrema importância, pois, é por meio delas que essa espécie se ramifica e também constituem as vias de acesso para que as reservas nutritivas cheguem até os tubérculos.

Os tubérculos são formados a partir dos rizomas, em suas extremidades pelo aumento radial da região meristemática sub-apical, cada tubérculo novo formará um ou mais rizomas e, dessa forma, o sistema se alastra (WILLS & BRISCOE, 1970). Nos primeiros meses de desenvolvimento da planta o sistema vascular entre os rizomas e tubérculos encontra-se contínuo. No entanto, em plantas maduras, essa continuidade é afetada, o que resulta em uma maior dificuldade de translocação dos herbicidas para os tubérculos (KISSMANN, 1991).

Os tubérculos da espécie possuem formatos arredondados irregulares e atingem 25 mm de comprimento. Cada tubérculo apresenta de duas a nove gemas (Bacchi, 1984), onde apenas a última gema dará continuidade a cadeia e até duas, das gemas inferiores, darão origem a novas raízes. As demais gemas presentes nos tubérculos entram em atividade no momento em que o rizoma é rompido ou através de outros estímulos (MELLO et al., 2003).

A parte aérea das folhas é muito sensível ao sombreamento, porém, os tubérculos produzidos se mantêm viáveis no solo e voltam a rebrotar quando o sombreamento é interrompido (KISSMANN, 1991). Patterson (1984), identificou que o sombreamento, nessa espécie, gera redução da biomassa dos tubérculos e rizomas, enquanto nas folhas ocorre o acréscimo. Nemoto et al. (1995), complementa que, desta forma, as práticas de manejo que promovem o fechamento precoce das culturas, são medidas úteis na redução da competitividade dessa planta daninha.

Magalhães (1967), ao estudar o efeito da luz no crescimento dessa espécie, também identificou que há decréscimo tanto para a parte aérea das plantas como para

a multiplicação de tubérculos, e que, isso ocorre de forma diretamente proporcional em relação ao decréscimo da radiação solar incidente. Segundo Stoller & Sweet (1987), verificaram que o comprimento do dia não influencia a taxa de tuberação, e que, esse processo depende de uma temperatura mínima de 20°C para ser iniciado. Esses mesmos autores, ressaltam ainda que, apesar de ser uma espécie de ciclo C₄, a tiririca é sensível ao sombreamento e converte sua matéria seca em tubérculos com eficiência.

Grande parte da dificuldade de controle dessa planta daninha está relacionada a produção de tubérculos, que atuam como as principais unidades de dispersão, uma vez que, apresentam dormência irregular, o que contribui para sua persistência no solo (BALOCH et al., 2015). Essa dormência irregular ocorre em função da dominância apical e dormência de gemas que essa espécie apresenta.

A dominância apical é o processo pelo qual a gema apical, geralmente, brota primeiro, enquanto as demais gemas presentes nos tubérculos permanecem dormentes (SMITH & FICK, 1937). Esses mesmos autores, afirmam ainda, que o processo de dominância apical ocorre no sistema interligado de tubérculos e rizomas, e também para tubérculos individuais. A idade dos tubérculos influencia no grau de dominância apical para essa espécie, de forma que, os tubérculos mais velhos apresentam maior dormência que os mais jovens em cadeia (MELLO et al., 2003).

Segundo Jangaard et al. (1971), as gemas dormentes passam a brotar novamente no momento em que a parte aérea dessa planta, originada da gema apical, morre ou é danificada. Elucidam ainda, que esse processo está, provavelmente, ligado a um desbalanço de hormônios promotores/inibidores de crescimento. Esses autores, ao realizarem a administração de ácido abscísico em tubérculos de *C. rotundus*, identificaram que há a redução da brotação. O efeito desse ácido nos tubérculos já era esperado, uma vez que, esse hormônio já havia sido encontrado na espécie (Bohm & Tryon, 1967), e a ação desse composto também havia sido caracterizada por promover o prolongamento da dormência em sementes (LIPE & CRANE, 1966; SUMNER & LYON, 1967; ADDICOTT & LYON, 1969). Segundo Teo et al. (1974), os tubérculos dormentes apresentam deficiência em uma citocinina, o que também gera um desbalanço entre promotores e inibidores de brotação, a favor da inibição. Ademais, Bell et al. (1962), relataram que compostos químicos como ácido giberélico, benzyladenine, éter-etil, etileno, H₂O₂, KSCN e tiouréia, dependendo da concentração, ocasionam a quebra da dormência na tiririca-roxa.

Para Durigan (1991), é devido a dominância apical e dormência de gemas que os tubérculos dessa espécie permanecem por longos períodos no solo, e isso favorece a espécie, uma vez que, esses tubérculos voltam a brotar reiniciando o crescimento e desenvolvimento das plantas sob condições ambientais favoráveis.

2.2 Impacto econômico da tiririca *C. rotundus* (L.)

A tiririca (*Cyperus rotundus* L.) já foi uma das plantas daninhas mais preocupantes e temidas de todo o mundo, esteve entre as mais disseminadas (KISSMANN, 1991). Segundo Holm et al. (1977), essa espécie é nativa da Índia e infesta cerca de 52 culturas em 92 países. Esse autor classificou essa espécie como a principal daninha em solos cultivados na região tropical. No Brasil é conhecida como tiririca-marrom, capim-dandá ou junça-aromática (LORENZI, 2001).

Embora algumas espécies da família das Cyperaceae sejam utilizadas para fins comerciais, como a *C. articulatus* L. na produção de perfumes (Simpson & Inglis, 2001), produção de bebidas como a “chufa”, cuja produção é oriunda dos rizomas de *C. esculentus* L., cultivada na Espanha (Osten, 1931) e, até mesmo remédios, como a *C. rotundus* L. que possui propriedades farmacológicas (Samraj et al., 2014; Pirzada et al., 2015 e Al-snafi, 2016), há maior preocupação com as espécies invasoras pertencentes a essa família, em cultivos agrícolas (BRUHL, 1995; LORENZI, 2001, SIMPSON & INGLIS, 2001).

Diversos autores têm evidenciado sua presença em regiões de clima temperado, tropical e subtropical no mundo, em países como a Índia, China, Taiwan, Coreia, Filipinas, Tailândia, Vietnã, Malásia, Indonésia, Ilhas do Pacífico, África, América do Sul, Oriente Médio, América do Norte, México, Nova Zelândia e Austrália (GUNASEKERA & FERNANDO, 1994; PARSONS e CUTHBERTSON, 2001; SHARMA & GUPTA, 2007; NAGARAJAN et al., 2015).

No Hemisfério Norte, está presente no sul dos Estados Unidos e Europa, aumenta sua presença em direção ao trópico. Enquanto no Brasil, ocorre praticamente em toda sua extensão territorial. Arévalo & Bertoncini (1995), ao estudar o manejo desta espécie na agricultura nacional, identificaram que essa invasora esteve presente em boa parte dos solos agrícolas brasileiros, climas e culturas.

Diversas culturas importantes do cenário agrícola brasileiro são afetadas pela presença de *C. rotundus*. Segundo Bendixen & Nandihalli (1987), os cereais,

frutíferas, hortaliças e as plantas energéticas como a cana-de-açúcar são as principais culturas infestadas por essa espécie.

Velini et al. (2000), verificou que a substituição da colheita após a queima do canavial pela colheita mecanizada sem queima (cana crua) promove alterações na composição da comunidade infestante. Isso porque a adoção da colheita mecanizada em cana crua, possibilita o manejo da palha da cultura sobre o solo. Dessa forma, espécies consideradas importantes podem ser substituídas por outras que se desenvolvem melhor em solos cobertos com a palha da cana-de-açúcar (RIPOLI, 2005).

Dentro da família das Cyperaceae existem casos registrados de resistência a herbicidas inibidores da ALS (*C. brevifolius*; *C. compressus*; *C. difformis*; *C. esculentus*; *C. iria*) e FS II (*C. difformis*) (HEAP, 2020). A espécie *C. rotundus*, atualmente, não possui nenhum caso de resistência registrado. Portanto, a adoção da cana crua somada ao fato de não haver casos de resistência dessa espécie registrados, faz com que a importância da *C. rotundus* decresça. No entanto, propágulos dessa espécie foram identificados em bancos de sementes de canaviais colhidos com e sem queima (FERREIRA et al., 2013). Toledo et al. (2017) ressalta ainda, que essa espécie ainda está entre as principais encontradas no cultivo da cana-de-açúcar.

Em boas condições edafoclimáticas, a taxa de produção dos tubérculos dessa espécie, pode atingir um a cada dois dias, a densidade encontrada em áreas de cultivo de cana-de-açúcar pode atingir 3.000 tubérculos m⁻², e até 2.000 manifestações epígeas m⁻², onde, após capinadas, crescem de um a três centímetros por dia (LORENZI, 1983). Ademais, a *C. rotundus* L. pode produzir 40 toneladas de massa fresca ha⁻¹, para isso, extrai cerca de 815 kg de sulfato de amônio, 320 kg de cloreto de potássio e 200 kg de superfosfato por hectare, calculados para 30 toneladas de massa vegetal (PITELLI et al., 1983).

Segundo Durigan et al. (2005), a produtividade da cana-de-açúcar apresentou-se reduzida em 13,5% em condições de baixa infestação (246 manifestações epígeas m⁻²) e 45,2% sob alta infestação (1.198 manifestações epígeas m⁻²).

A *C. rotundus* (L.) é uma espécie perene de multiplicação via sementes e, principalmente, pelos tubérculos, rizomas e bulbos subterrâneos. O desenvolvimento e multiplicação dessa espécie em condições de baixa temperatura ocorrem de forma mais lenta e, condições de altas temperaturas são toleradas por essa planta. Segundo

Shang (2006), 13 °C é a temperatura mínima para a germinação dos tubérculos, 30 a 35 °C é a faixa adequada e 40 °C a mais alta temperatura em que os tubérculos vieram a germinar. Sob condições adequadas de temperatura, essa espécie apresenta um hábito de colonização significativo (Rogers et al. 2008) e sua multiplicação ocorre rapidamente (EDENFIELD et al., 2005; WEBSTER et al., 2016).

O fato dessa espécie se reproduzir via sementes, bulbos e tubérculos (que ficam no solo, em diferentes profundidades), atrelados aos longos e irregulares períodos de dormência, são características biológicas que a torna ainda mais importante, principalmente em culturas de crescimento inicial lento, como é o caso da cana-de-açúcar, do alho e da cebola (FREITAS et al., 1997).

Os prejuízos da produção no cultivo de cana-de-açúcar, não só são provenientes da competição causada pela requisição de recursos do meio como água, luz e nutrientes. A *C. rotundus* é capaz de produzir substâncias químicas de efeito alelopático, que ao serem liberadas por exsudação, inibem a brotação de gemas e reduzem o perfilhamento da cana, que, por consequência afetam o desenvolvimento dessa cultura (ORSI, 1997; CHRISTOFFOLETI, 1988).

O controle da tiririca só é alcançado ao limiar de níveis econômicos ao utilizarmos a combinação de métodos de manejo disponíveis (cultural, mecânico, químico e biológico), pois, o controle químico, embora seja o método mais eficiente no controle dessa espécie, apresenta resultados insatisfatórios (PEREIRA, 1998).

Ademais, alguns autores evidenciaram a dificuldade do controle e erradicação da tiririca na cultura da cana, principalmente por não haver no mercado, produtos seletivos altamente eficazes, o que torna os custos referentes ao controle dessa espécie, mais alto (DARIO et al., 1995; CATUNDA et al., 2000; SILVA et al., 2000).

Werlang & Silva (2004), explicam que a dificuldade no controle da tiririca ocorre em função da dormência irregular dos tubérculos e sua distribuição desuniforme no solo, em consequência, a brotação e crescimento ocorrem de forma irregular e por um longo período após o plantio da cultura. Durigan (1991), ressalta que a rede de tubérculos, característica dessa espécie, também dificulta a translocação dos herbicidas sistêmicos para os tubérculos. Ademais, em plantas mais velhas, a continuidade da rede de tubérculos criada é afetada, o que aumenta a dificuldade de translocação de herbicidas para alguns tubérculos (KISSMANN, 1991).

Contudo, a *C. rotundus* (L.), é uma espécie de elevada importância agrícola, afeta diversas culturas de importância econômica, porém, a cana-de-açúcar

certamente é a mais impactada por essa espécie. A medida mais eficiente no controle de plantas daninhas se dá por meio do controle químico que também é o método mais empregado pelos produtores de cana-de-açúcar e devem ser utilizados em conjunto com outras técnicas que favoreçam o controle das invasoras de difícil erradicação.

2.3 Amicarbazone: características e modo de ação

A molécula de amicarbazone “[1 H- 1,2,4-trizole-1-carboxamide, 4 amino-N-(1,1-dimethyl-ethyl)-4,5dihydro-3-(1-methyl)-5-oxo]”, registrada no Brasil pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) possui atualmente sete diferentes formulações, com diferentes nomes comerciais para as culturas da cana-de-açúcar e milho. No entanto, o produto comercial utilizado no presente estudo é o Dinamic®, sob o nº 0106010419003 (AGROFIT, 2020).

Esse herbicida, atua na inibição do fotossistema II (FS II) e é indicado para o controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas na cultura da cana-de-açúcar. Apresentado na formulação de grânulos dispersíveis em água, na concentração de 700 g de ingrediente ativo para cada 1 kg da formulação comercial. Pertence ao grupo químico das triazolinonas, é de classificação toxicológica II e seu intervalo de segurança é de 269 dias (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

É um herbicida sistêmico de alta solubilidade em água (4600 ppm ou mg L⁻¹ a uma temperatura de 25°C com pH = 4 a 9), sua capacidade de adsorção no solo é de baixa a moderada, com o K_{oc} entre 23 e 37, é classificado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA) como um herbicida de alta mobilidade no solo. Esse herbicida apresenta fotodegradação desprezível, e pressão de vapor de 0,975 x 10⁻⁸ mm Hg (1,3 x 10⁻⁶ Pa) à temperatura de 20°C, o que faz com que seja caracterizado como praticamente não volátil. A degradação desse composto, ocorre primariamente através de dissipação, atribuída à degradação microbiana. Possui meia-vida de 3 a 6 meses, essa variação ocorre em função das condições de solo e clima, da dose, tipo e textura do solo, teor de matéria orgânica e quantidade de chuvas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

Segundo Toledo et al. (2004), a absorção do amicarbazone ocorre de forma radicular e foliar, pode ser recomendado para aplicações em pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas. Uma vez que, quando aplicado no solo em pré-emergência, este herbicida é absorvido pelo sistema radicular e translocado via xilema e em pós-emergência prevalece a absorção foliar e a ação de contato é predominante.

Geralmente, a absorção de herbicidas pelas plantas envolve a penetração inicial por regiões metabolicamente não ativas e, posteriormente, a absorção simplástica, sendo a duração desse processo dependente da espécie envolvida, da idade da planta, das condições ambientais, da concentração do herbicida, dentre outros fatores (SILVA et al., 2007). Ademais, a absorção foliar de herbicidas está relacionada às propriedades foliares, como espessura da cutícula, ceras epicuticulares, maturidade foliar e número de estômatos (CHACHALIS et al. 2001; HESS 1985; KALNAY e GLENN 2000; SANYAL et al. 2006; WANAMARTA e PENNER 1989).

Nas raízes a absorção de herbicidas não é tão limitada quanto pelas folhas, devido à baixa quantidade de substância lipídica ou ausência de cutícula nos pontos de maior absorção de água e herbicida, uma vez que estes pontos são constituídos por pêlos na extremidade da raiz. A absorção pelas raízes, combinada com a translocação via xilema, são particularmente importantes para os herbicidas inibidores da fotossíntese, compreendendo os grupos químicos das uréias, uracilas, triazinas e triazolinonas (SATICHIVI et al., 2000).

Os processos de absorção e translocação de herbicidas dependem também das propriedades físico-químicas apresentadas pelos mesmos. A principal característica que influencia nesse processo estão relacionadas às propriedades lipofílicas e hidrofílicas dos herbicidas, as quais são medidas através do coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}). Esse coeficiente representa a proporção entre as quantidades de um determinado herbicida que migram para um solvente orgânico apolar (geralmente o octanol) ou para a água (polar). Quanto maior o coeficiente de partição do herbicida, maior a sua lipofilicidade, sendo verificada correlação linear inversa entre os valores de tal coeficiente e a solubilidade em água (MONQUERO, 2014).

O xilema é responsável pela eficiência na distribuição desses herbicidas nas folhas das plântulas em espécies daninhas, pois cada célula das folhas está conectada ao sistema radicular da planta através deste sistema condutor. A translocação dos herbicidas pelos tecidos vasculares é fundamental para que os herbicidas alcancem os sítios de ação, onde irão exercer sua atividade (SATICHIVI et al., 2000).

Briggs et al. (1982), identificaram que os herbicidas que possuem valores de K_{ow} próximos a 100, apresentam maior facilidade para atravessar a plasmalema, ou seja, entram e saem com maior facilidade no simplasto, e o transporte desses

compostos das raízes para a parte aérea das plantas ocorre de forma facilitada. Produtos mais lipofílicos, ($K_{ow} > 10.000$) ou hidrofílicos ($K_{ow} < 0,32$), foram transportados à parte aérea com dificuldade, apesar do grande acúmulo dos produtos lipofílicos nas raízes. Briggs (1984), observou ainda que compostos lipofílicos são fortemente adsorvidos pela matéria orgânica do solo, e por esse motivo, o transporte à parte aérea das plantas tende a ser máximo para compostos com K_{ow} na faixa de 10 a 30, apesar de os máximos transportes terem sido verificados com valores de K_{ow} próximos a 100. O K_{ow} do amicarbazone é de 16 (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Contudo, é possível inferir que o amicarbazone apresenta maior potencial de ser absorvido pelas plantas devido à faixa de abrangência ótima do K_{ow} .

Segundo Rodrigues & Almeida (2018), os sintomas de sua ação iniciam-se nas bordas das folhas e avançam para todo o tecido foliar, com posterior morte das plantas. Os principais sintomas causados pela ação do amicarbazone em plantas suscetíveis são: clorose, redução de crescimento e necrose foliar. A atividade biológica de uma molécula herbicida em uma planta está ligada a absorção, translocação e metabolização desse composto.

Como mencionado anteriormente, o mecanismo de ação desse herbicida se dá através da inibição da fotossíntese, especificamente no FSII. A fotossíntese é um processo de transformação energética, no qual as plantas, dentre outros organismos, transformam energia solar em química, esse processo resulta na síntese de carboidratos, esses por sua vez, são de extrema importância para a maioria dos organismos vivos.

As células dos tecidos das plantas possuem cloroplastos, os quais contêm clorofilas e carotenóides, que são pigmentos fotorreceptores. Segundo Monquero (2014), a energia radiante é capturada e aprisionada pelos pigmentos e transferida para o sítio de reação P_{680} , o que cria um estado de elétron excitado. Esse elétron é transferido para uma molécula de plastoquinona, que está ligada a uma região específica dentro da proteína D_1 , denominada de “ Q_A ”, por sua vez, passa elétron para uma outra plastoquinona que está ligada a outra região “ Q_B ”. No momento em que um segundo elétron é passado para a região “ Q_B ”, a partir de “ Q_A ”, a quinona que se encontra reduzida torna-se protonada (QBH_2). Segundo Hess (2000), a função de QBH_2 é transferir os elétrons entre os FS I e II.

Os produtos finais, formados através do transporte de elétrons da fotossíntese são compostos de alta energia ATP e NADPH, e são utilizados para síntese de

açúcares nas reações de fixação do carbono no estroma do cloroplasto. Esses fotoassimilados, são direcionados para o crescimento das plantas, sendo que sua distribuição, ocorre principalmente em direção aos órgãos reprodutivos, e conseqüentemente, é considerado um fator determinante da produtividade (BACARIN & MOSQUIM, 2002).

Os herbicidas inibidores do FS II, como é o caso do amicarbazone, atuam fitotóxicamente, como análogos às plastoquinonas na reação de Hill (FS II), ligando-se ao sítio da proteína D₁, na região "Q_B" (FUERST & NORMAN, 1991; HESS, 2000; TOLEDO, 2004; POWLES & YU, 2010). Com isso, há o bloqueio do transporte dos elétrons no fotossistema, pois embora a plastoquinona "Q_A" esteja reduzida, mediante a iluminação, não pode ser oxidada pela "Q_B", pois o sítio da proteína está ocupado pelo herbicida.

O resultado desse processo são moléculas de clorofila carregadas energeticamente. Nesse estado, há uma reação em cadeia formando radicais livres como: oxigênio "singlet", superóxido, radical hidroxila e peróxido de hidrogênio, além da paralisação da fixação de CO₂ e NADPH₂. Esses radicais livres irão peroxidar os lipídeos da membrana, formando novos radicais lipídicos, o que ocasiona na destruição das membranas e perda de clorofila, levando assim, as plantas tratadas à morte (VIDAL & MEROTTO, 2001).

Como mencionado anteriormente, no processo de fotossíntese, a luz é absorvida por pigmentos fotorreceptores e, quando excitados, transferem energia para os centros de reação dos FS II e I (YOUNG & FRANK, 1996). Essa energia em excesso pode ser dissipada na forma de fluorescência (KRAUSE & WINTER, 1996).

Sob condição de baixa luminosidade, cerca de 95% dos fótons absorvidos são utilizados na fotoquímica, 4,5% transformados em calor e 0,5% reemitidos como luz fluorescente. Caso haja um bloqueio da fotossíntese, nos centros de reação do FS II, até 97% da energia pode ser dissipada como calor e 2,5-5,0% dissipada via fluorescência (BOLHÀR-NORDENKAMPF & OQUIST, 1993). Nesse sentido, a emissão de fluorescência pode fornecer informações sobre os processos fotoquímicos do FS II.

Segundo Araldi (2010), a mensuração da fluorescência no PSII é variável, pois, é extremamente influenciada pelo estado fisiológico do vegetal. No entanto, a capacidade fotossintética diminui à medida em que a severidade do dano sofrido pela planta aumenta. Contudo, em alguns casos, pode haver recuperação da capacidade

fotossintética em poucas horas ou dias ou mesmo a morte do tecido, o que depende do nível de dano causado a planta.

A relação entre fluorescência e atividade fotossintética foi observada e descrita por Kaustsky. Desde então, pode ser utilizada para avaliar a atividade fotossintética das folhas e para detectar os efeitos de estresses em plantas. Portanto, o monitoramento da inibição ou redução na transferência de elétrons entre os fotossistemas da planta sob aplicação de herbicida, podem ser observados em folhas intactas (MAXWELL & JOHNSON, 2000), onde a redução da dissipação da energia é refletida por um incremento correspondente na fluorescência.

As plantas apresentam mecanismos que reduzem o estresse oxidativo, produzido geralmente em baixos níveis no processo da fotossíntese. Entre esses mecanismos estão a ação de enzimas antioxidantes, dos carotenóides e a-tocoferol (vitamina E), que protegem contra a peroxidação lipídica e do OH^* , ambos presentes nas membranas do tilacóide (GRONWALD, 1994; SALISBURY & ROSS, 1994), além do ácido ascórbico (FOYER et al., 1994). Segundo Araldi (2010), a aplicação do amicarbazone, inibidor do transporte de elétrons no FS II, a quantidade de radicais produzidos ultrapassa a capacidade de destoxificação desses mecanismos.

É importante mencionar que, as plantas após a absorverem o herbicida, podem metaboliza-lo em compostos secundários e perder, reduzir ou aumentar a atividade biológica do herbicida (ROMAN et al., 2007).

Dong et al. (2015), ao analisarem o herbicida amicarbazone e alguns de seus metabólitos em grãos e soja, além do desenvolvimento de um protocolo para extração e limpeza, para posterior avaliação desses metabólitos, relataram que esse herbicida pode ser biotransformado, através da desaminação e hidroxilação, em Desamino-amicarbazone e isopropyl-2-hydroxy-desamino amicarbazone. Esses autores ressaltam ainda que o efeito de toxicidade desses metabólitos não é claro, mas que esses compostos foram adicionados a EPA-USA como resíduos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu-SP.

Foram coletados 8 biótipos de *Cyperus rotundus* (L.) em diferentes regiões do estado de São Paulo e um em Curitiba-PR, totalizando 9 biótipos (Tabela 1). Os tubérculos coletados foram plantados em potes de 300 mL preenchidos com substrato (Carolina II[®]), onde permaneceram até o florescimento para a identificação da espécie de interesse desse estudo. Após a identificação, os tubérculos dessas plantas foram transplantados e multiplicados em vasos de 8,5 L para experimentos posteriores.

Tabela 1 - Coordenadas geográficas e municípios onde os biótipos de *Cyperus rotundus* (L.) foram coletados no ano de 2016.

Biótipos	Municípios	Latitude	Longitude
1	Marília	22°14'31.8"S	49°57'152.9"W
2	Barra Bonita	22°33'30.7"S	48°33'29.5"W
3	Pereira	23°09'18.9"S	47°56'43.8"W
4	São Manuel	22°46'31.2"S	48°34'11.1"W
5	Botucatu	22°50'39.4"S	48°26'02.5"W
6	Vitoriana	22°45'46.3"S	48°26'37.0"W
7	Vitoriana	22°46'46.1"S	48°25'05.9"W
8	Jaú	22°21'29.3"S	48°38'45.6"W
9	Curitiba	25°26'44.4"S	49°21'21.4"W

3.1 Experimento 1 – Avaliação da taxa de crescimento dos biótipos de tiririca *Cyperus rotundus* (L.)

O primeiro experimento foi realizado a fim de caracterizar o desenvolvimento dos biótipos de *C. rotundus* (L.). Cinco tubérculos de cada biótipo foram pesados em balança de precisão (0,0001g) e transplantados em vasos com capacidade de 8,5 litros preenchidos com solo. O solo, de textura arenosa, apresentou as seguintes características físico/químicas: 836, 122 e 42 g.Kg de solo⁻¹ de areia, argila e silte, respectivamente; pH (CaCl₂) = 4,9; M.O. = 5 g.dm⁻³; P (resina) = 10 mg.dm⁻³; Al³⁺ = -; H+Al = 20 mmol_c.dm⁻³; K = 1,4 mmol_c.dm⁻³; Ca = 7 mmol_c.dm⁻³; Mg = 4 mmol_c.dm⁻³; SB = 12 mmol_c.dm⁻³; CTC = 33 mmol_c.dm⁻³ e V = 37%.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 9 tratamentos (8 biótipos coletados em diferentes regiões do estado de São Paulo-SP e um em Curitiba-PR – Tabela 1) com cinco repetições.

As plantas foram avaliadas aos 90 dias após o plantio (DAP) quanto ao número de plantas emergidas, massa fresca e seca da parte aérea das plantas, número, massa fresca e massa fresca média dos tubérculos produzidos. Para a obtenção da massa fresca da parte aérea, as plantas foram cortadas rente ao solo e pesadas em balança de precisão (0,0001g), em seguida as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e levados a estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura constante de 60°C por um período de 72 horas e, posteriormente, pesadas na mesma balança.

Para contagem do número de tubérculos produzidos, ao final do experimento, estes foram retirados dos vasos e separados das raízes, contados e pesados. A avaliação de massa fresca média dos tubérculos produzidos foi obtida pela divisão da massa fresca de tubérculos e o número de tubérculos produzidos em 90 DAP.

Também foi realizado um teste de brotação com os tubérculos produzidos, no qual foram separados 30 tubérculos ao acaso de cada repetição, plantados em vasos do tipo jardineira (14 L), preenchidos com o solo utilizado anteriormente. Avaliou-se o número de plantas emergidas aos 30 DAP e, após a última avaliação, o solo foi lavado para quantificação de tubérculos brotados.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de t (LSD) a 10% de probabilidade através do SISVAR® (FERREIRA, 2008).

3.2 Experimento 2 – Curva de dose-resposta dos biótipos de tiririca *Cyperus rotundus* L. sob aplicação de amicarbazone em pré-emergência

O segundo experimento avaliou o efeito das doses do herbicida amicarbazone em pré-emergência no desenvolvimento de *C. rotundus* por meio de ensaio de curva de dose-resposta. Com delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), 9 biótipos e 6 doses do herbicida amicarbazone, com cinco repetições.

Para esta finalidade, o solo foi seco ao ar livre e, após isso, 6 tubérculos foram transplantados em vasos de capacidade de 2 litros, preenchidos com o mesmo tipo de solo citado no primeiro experimento. Após o transplante dos tubérculos, foi

realizada a simulação de chuva de 10 mm com o objetivo de saturar o solo 24 horas antes da aplicação das doses do herbicida.

A aplicação do herbicida e a simulação de chuva foram realizadas por um pulverizador estacionário instalado em uma sala fechada no NUPAM. Esse equipamento possui 3 m de altura por 2 m de largura, o que permite o acoplamento de um carrinho suspenso a 2,5 m de altura. A esse carrinho são acopladas duas barras de funcionamento independente, uma responsável pela simulação de chuva e a outra pelo sistema de pulverização dos produtos químicos.

A simulação de chuva foi realizada utilizando-se uma bomba hidráulica de pressão constante com acionamento automático, a qual bombeia água de um reservatório até a barra e bicos responsáveis pela formação de gotas de chuva. A barra de simulação de chuva é constituída por três bicos de pulverização TK-SS-20 de alta vazão, espaçado de 0,5 m entre eles e posicionados para proporcionar uma melhor uniformidade da precipitação simulada na área aplicada e encontra-se a 1,45 m de altura em relação à superfície das unidades experimentais. Este sistema foi operado com velocidade de deslocamento de $0,2 \text{ Km.h}^{-1}$ (o que corresponde a 2,5 Hertz de frequência no modulador) e pressão de trabalho de $0,81 \text{ kgf.s}^{-2}$. Estas especificações proporcionaram a produção de gotas artificiais de chuva com diâmetro mediano volumétrico (DMV) de aproximadamente 1140 micras, conforme informações fornecidas pelo fabricante da ponta de pulverização (Spraying Systems Co.) que em cada lâmina aplicada corresponde a uma chuva de aproximadamente 2,5 mm de precipitação.

A barra de pulverização é constituída por quatro pontas XR 110.02 VS, espaçadas de 0,5 m entre si e foram posicionadas a 0,5 m em relação à plantas de tiririca. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de $3,6 \text{ km.h}^{-1}$, o que correspondeu a 45,0 Hertz no modulador de frequência, com volume de calda correspondente a 200 L. ha^{-1} . O equipamento foi operado sobre pressão constante de 1,5 bar pressurizado por ar comprimido.

O produto comercial, Dinamic® (700 g i.a. Kg^{-1}), em formulação de Granulados Dispersíveis (WG) foi utilizado, este produto contém amicarbazone como ingrediente ativo (i.a), e as doses aplicadas foram de 0; 262,5; 525; 1050; 2.100 e 4.200g de i.a.ha⁻¹.

Realizou-se avaliações da taxa de transporte de elétrons (ETR) aos 14; 21 e 30 dias após a aplicação (DAA), com auxílio de um fluorômetro portátil (Multi-Mode

Chlorophyll Fluorometer OS5p – OptiSciences), por meio do protocolo Yield para as medições, cuja o modelo quantifica a fluorescência que a planta emite, com leituras realizadas em 3 pontos das folhas completamente expandidas; número de plantas produzidas aos 30 DAP e massa fresca e seca da parte aérea das plantas, como descrita anteriormente no ensaio de taxa de crescimento.

Os dados resultantes foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as médias comparadas pelo teste de t (LSD) a 10% de probabilidade. Para todos os parâmetros avaliados nesse ensaio, foram calculados os intervalos de confiança (média \pm intervalo de confiança), a partir da seguinte equação:

$$IC = \frac{(t \times desvpad)}{\sqrt{n}}$$

Onde, *IC* é o intervalo de confiança; *t* é o valor de t tabelado, ao nível de 5% de probabilidade; *desvpad* é o desvio padrão, e \sqrt{n} é a raiz quadrada do número de repetições.

3.3 Experimento 3 – Avaliação da metabolização do amicarbazone pela tiririca *Cyperus rotundus*

O terceiro experimento quantificou a deposição, absorção e metabolização do herbicida amicarbazone e metabólitos (desamino-amicarbazone N-(1,1-Dimethylethyl)-4,5-dihydro-3-(1-methylethyl)-5-oxo-1H-1,2,4-triazole-1-carboxamide) e N-Methylated des-amino N-(1,1-Dimethylethyl)-4,5-dihydro-4-methyl-3-(1-methylethyl)-5-oxo-1H-1,2,4-triazole-carboxamide, pelos biótipos de tiririca. Para isso, sete tubérculos foram plantados em vasos de capacidade de 1,8 litros, preenchidos com substrato Carolina II[®]. Foi realizada a aplicação do herbicida 30 DAP dos tubérculos na dose comercial de 1050 g de i.a. ha⁻¹ com adição do adjuvante Lanzar[®] a 0,5% (Figura 1). A metodologia utilizada na aplicação do produto foi a mesma já descrita anteriormente no experimento 2.

Figura 1 – Estágio das plantas de *Cyperus rotundus* no dia da aplicação de amicarbazone (30 DAP).



O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com 9 tratamentos (9 biótipos submetidos à aplicação de amicarbazone na dose comercial de 1050 g i.a. ha⁻¹) e 5 repetições.

Foram realizadas avaliações da taxa de transporte de elétrons (ETR), nos períodos de 6, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 240, 288, 336, 408, 456, 504 e 576 horas após a aplicação do herbicida (HAA), com 6 medições por parcela; número de plantas; massa seca da parte aérea; número de tubérculos produzidos; massa fresca dos tubérculos. Para as avaliações de ETR, número de plantas, massa seca da parte

aérea, número de tubérculos e peso fresco dos tubérculos, utilizou-se da mesma metodologia citada no segundo experimento.

Também foram realizadas quantificações da concentração de amicarbazone, desamino-amicarbazone (DA) e N-Methylated des-amino (N-Me DA) nas plantas coletadas as 168 e 576 HAA e nos tubérculos as 576 HAA, correspondentes aos 7 dias após a aplicação (DAA) e término do ensaio. Para determinação desses compostos foram coletadas duas folhas de 6 plantas de cada parcela as 168 HAA e duas folhas de 6 plantas mais 10 tubérculos as 576 HAA.

As folhas coletadas as 168 HAA foram acondicionadas em sacos plásticos e lavadas por três vezes com 100 mL de água destilada para total remoção do amicarbazone depositado sobre as folhas de tiririca. A água proveniente das três lavagens foi misturada e resultou em apenas uma amostra composta, estas amostras foram acondicionadas em tubos de centrifuga de 15 mL e armazenadas em freezer a uma temperatura de -20°C para posterior quantificação. Posteriormente a esse processo, as folhas foram maceradas com nitrogênio líquido e liofilizadas por um período de 72 horas em um Liofilizador Christ Alpha 2-4 LD Plus.

Em seguida foram pesados 0,1g do tecido liofilizado e acondicionados em tubos de centrifuga, armazenadas em freezer -20°C, para posterior quantificação interna dos compostos. O mesmo procedimento foi utilizado para o preparo das amostras de folhas e tubérculos coletados as 576 HAA (término do ensaio), com exceção da tríplice lavagem (não realizada).

Para a extração dos compostos, os tubos de centrifuga que continham a água proveniente da tríplice lavagem foram descongelados e filtrados em filtros Millex HV (Millipore) 0,45 µm com membrana durapore de 13mm, e acondicionados em *vial* âmbar 9 mm (Flow Supply) de 2 mL de capacidade, para posterior quantificação dos compostos citados. Para as amostras liofilizadas (folhas coletadas as 168 HAA e folhas e tubérculos coletados as 576 HAA), 10 mL de solução extratora (80% metanol + 20% água) foi adicionada nos tubos com uma pipeta automática (Gilson), submetidas a banho de ultra-som (Elma – Elmasonic P 180 H) à 37 Khz durante 30 minutos à temperatura ambiente. Após a realização da extração, as amostras foram submetidas à centrifugação a 1780 g, durante de 5 minutos a 20°C (centrifuga Rotina 38R). O sobrenadante foi coletado, filtrado, em filtros do mesmo modelo citado anteriormente, e acondicionados em *vials* âmbar de 9 mm (Flow Supply), 2 mL de capacidade.

Em seguida, para a realização das análises dos compostos foi utilizado um sistema de cromatografia líquida acoplado a um espectrômetro de massas triplo quadrupolo (LC-MS/MS 3200 Q TRAP de marca Applied Biosystems), que combina a análise ultrarrápida com excelente performance de separação e alta confiabilidade dos resultados. Acoplado ao HPLC está o espectrômetro de massas 4500, Triple Quad, AB Sciex. Segundo Queiroga (2009), esse modo quantitativo padrão é utilizado para metabólitos alvo, tendo com principais vantagens a alta sensibilidade e reprodutibilidade, além da medição simultânea de até 100 compostos.

As condições cromatográficas para a quantificação dos compostos foram otimizadas para cada modo de ionização (Tabela 2) e as massas moleculares dos compostos estão apresentadas na Tabela 3. Escolheu-se o modo de ionização (eletrospray – ESI), com detecção e separação em uma única corrida com modo positivo. O tempo de corrida do AMK, DA E N-Me DA são 4.75, 4.86 e 4.57 respectivamente, os cromatogramas dos compostos estão apresentados nas figuras 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Condições cromatográficas utilizadas para quantificação dos compostos analisados

Coluna Analítica	Synergi 2.5 μ Hydro-RP 100Å (50 x 4,6 mm)
Volume de injeção	20 μ l
Fase móvel (pH 7,0)	Fase A = Água com 0.1% ácido acético Fase B = Metanol com 0.1% ácido acético
Gradiente	0 – 1 minutos = 20% Fase B e 80% Fase A 1 – 4 minutos = 95% Fase B e 5% Fase A 4 – 6 minutos = 95% Fase B e 5% Fase A 6 – 8 minutos = 20% Fase B e 80% Fase A 8 – 10 minutos = STOP
Fluxo	0,6 ml.min ⁻¹
Temperatura do forno	40°C

Tabela 3 – Massa molecular dos compostos e fragmentos analisados

Composto	Massa molecular	Fragmento
Amicarbazone	503.308	165,30
		264,20
		183,30
Desamino-amicarbazone	227,247	128,10
		112,20
		113,20
N-Methylated des-amino	243,234	144,20
		126,30
		86,10

Os dados resultantes das avaliações: Número de plantas; Massa seca da parte aérea; Número de tubérculos; Massa fresca de tubérculos; Deposição; Absorção e quantificação do amicarbazone e metabólitos, foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as médias comparadas pelo teste de t (LSD) a 10% de probabilidade. Para as avaliações de ETR, foram calculados os intervalos de confiança (média ± intervalo de confiança), a partir da seguinte equação:

$$IC = \frac{(t \times desvpad)}{\sqrt{n}}$$

Onde, *IC* é o intervalo de confiança; *t* é o valor de t tabelado, ao nível de 5% de probabilidade; *desvpad* é o desvio padrão; e \sqrt{n} é a raiz quadrada do número de repetições.

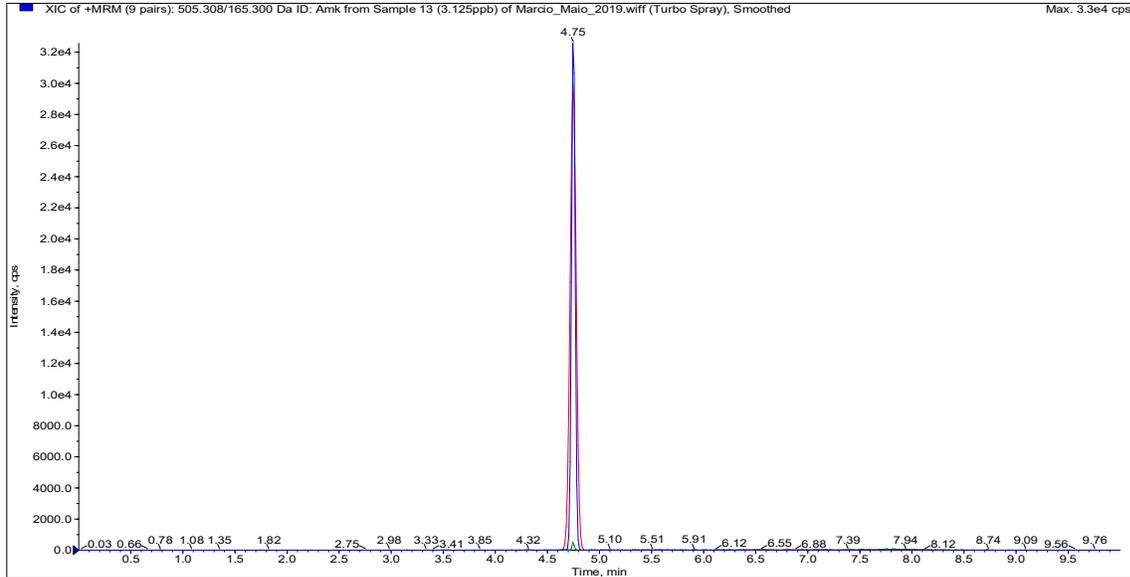
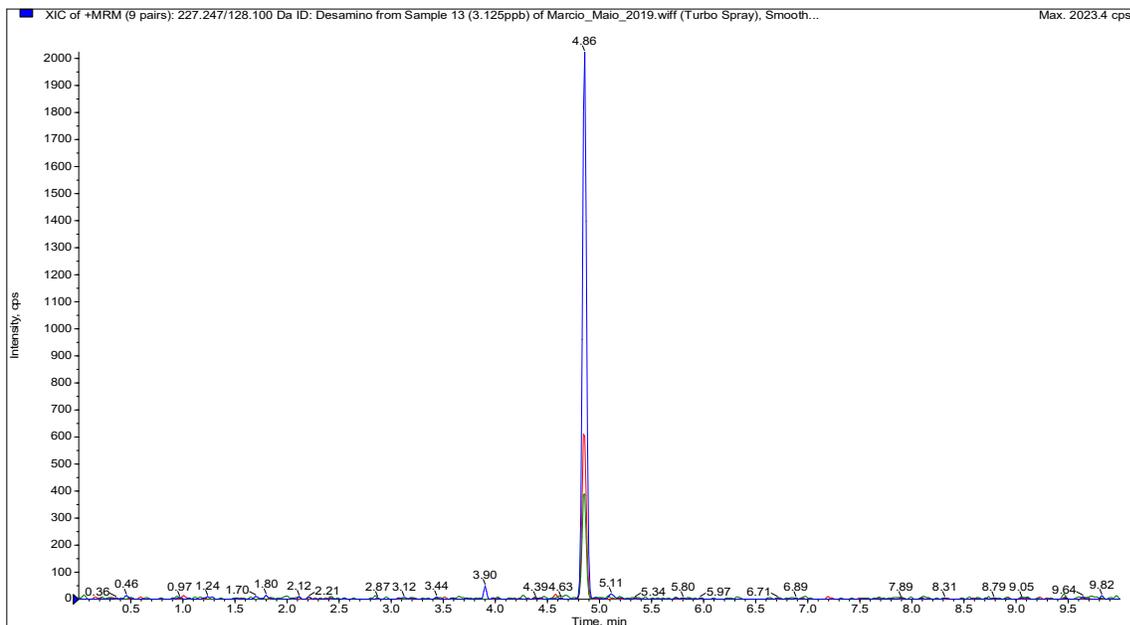
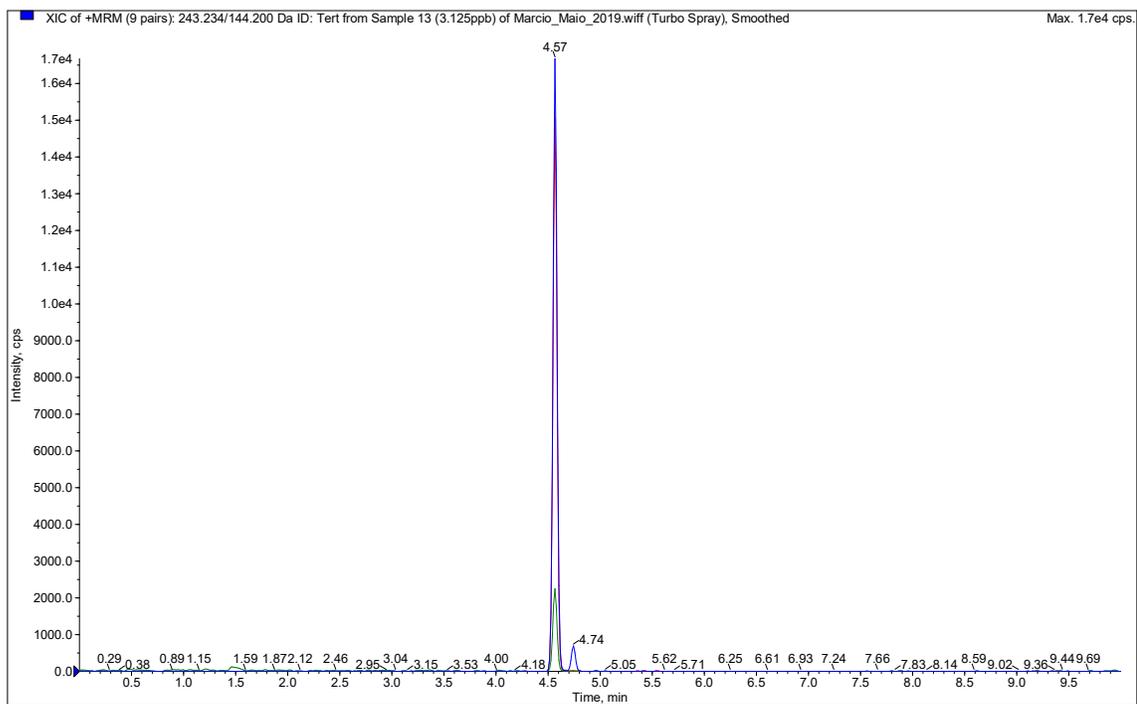
Figura 2 – Cromatograma do composto Amicarbazone (3.125ng. ml⁻¹)**Figura 3 – Cromatograma do composto desamino-amicarbazone (3.125ng. ml⁻¹)**

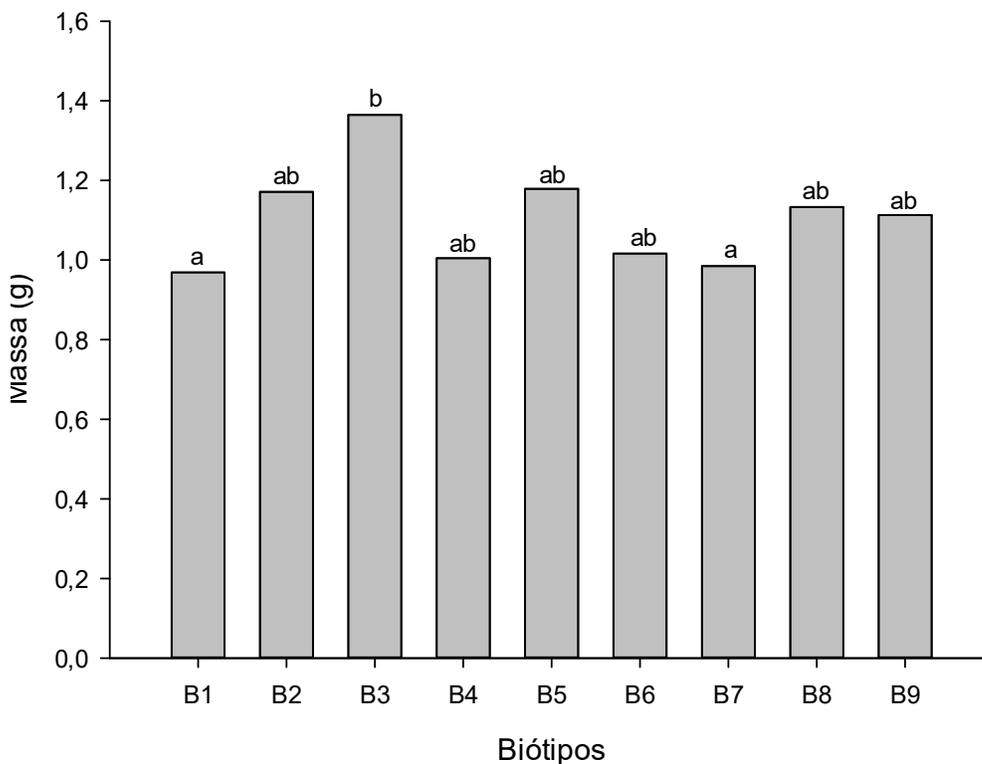
Figura 4 – Cromatograma do composto N-Methylated des-amino (3.125ng. ml⁻¹)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1 – Avaliação da taxa de crescimento de biótipos de tiririca *Cyperus rotundus* (L.)

O biótipo 3 apresentou maior massa média de tubérculos (28,68%) produzidos no momento do plantio em relação aos biótipos 1 e 7 (Figura 5). Essa diferença pode estar associada ao tempo em que esses tubérculos foram formados no solo e, conseqüentemente, maior tempo de desenvolvimento até o momento da coleta, à capacidade diferencial de desenvolvimento de cada biótipo e acúmulo de água presente nos tubérculos.

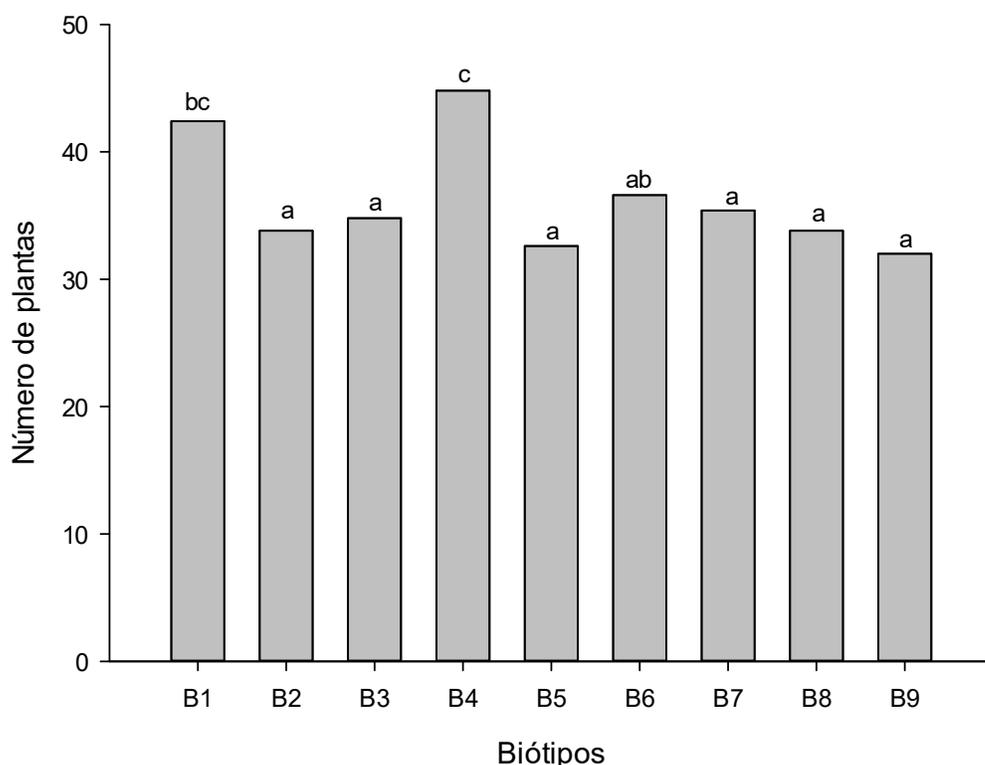
Figura 5 – Massa média dos tubérculos plantados (g) para os biótipos de *Cyperus rotundus* (L.).



F = 0,70*, CV (%) = 30,64, DMS = 0,36. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

Para a avaliação do número de plantas produzidas em 90 dias após o plantio (DAP), os biótipos 1 e 4 apresentaram maiores números de plantas (42,40 e 44,80, respectivamente) quando comparados aos biótipos 2, 3, 5, 7, 8 e 9 (Figura 6). É importante mencionar sobre esse fato, que a tiririca *Cyperus rotundus* (L.) apresenta dominância apical e dormência de gemas. Segundo Mello et al. (2003), essa dominância é influenciada pela idade dos tubérculos, de forma que os mais jovens são menos dormentes que os mais velhos em cadeia. Dessa forma, os resultados obtidos podem estar sob influência da dominância apical, característica da espécie, e conseqüentemente a capacidade diferencial de desenvolvimento de cada biótipo é afetada.

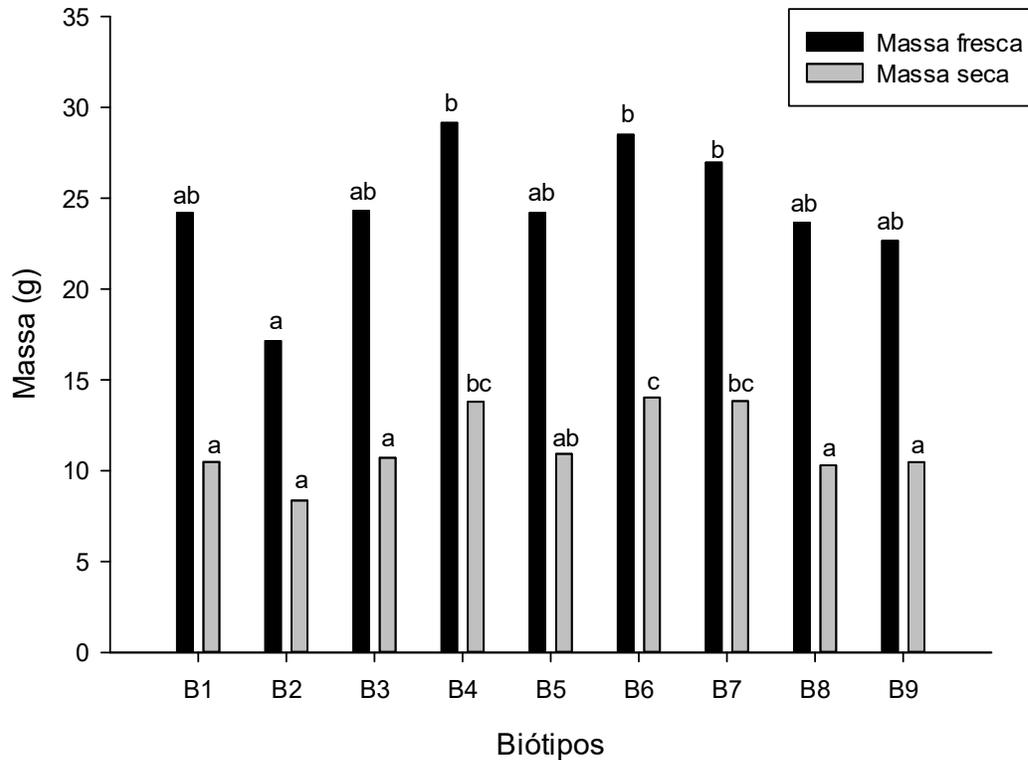
Figura 6 – Número de plantas dos biótipos de *C. rotundus* (L.) produzidas de em 90 DAP.



F = 2,61*, CV (%) = 16,93, DMS = 6,55. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

A avaliação de massa fresca da parte aérea das plantas de tiririca *Cyperus rotundus* (L.) permite a diferenciação do desenvolvimento epígeo dos biótipos 4, 6 e 7, em relação ao biótipo 2 (Figura 7). Para a avaliação de massa seca da parte aérea, esses mesmos biótipos diferiram estatisticamente dos biótipos 1, 2, 3, 8 e 9.

Figura 7 – Massas fresca e seca da parte aérea (g) para os biótipos de tiririca *C. rotundus* (L.) produzidas em 90 dias após o plantio (DAP).

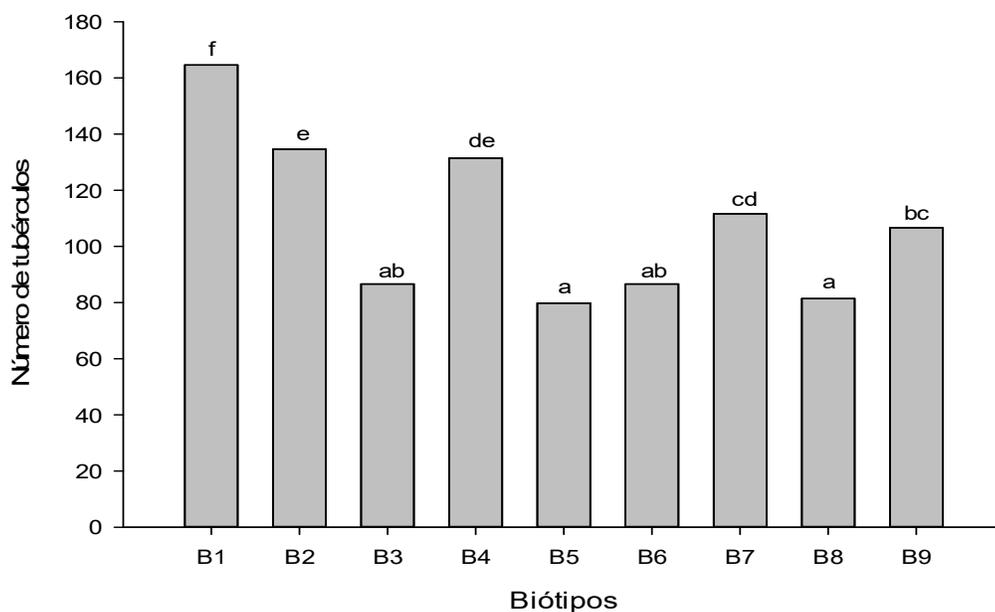


$F_{\text{massa fresca}} = 1,16^*$, $CV_{\text{massa fresca}} (\%) = 30,16$, $DMS_{\text{massa fresca}} = 7,9$. $F_{\text{massa seca}} = 2,50^*$, $CV_{\text{massa seca}} (\%) = 24,5$, $DMS_{\text{massa seca}} = 2,99$. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

Os biótipos 1, 2 e 4 apresentaram a maior produção de tubérculos aos 90 DAP quando comparados aos biótipos 3, 5, 6, 8 e 9 (Figura 8). Enquanto, a avaliação de massa fresca dos tubérculos produzidos, no mesmo período, mostra que os biótipos 1, 2 e 4 apresentaram maiores valores de massa fresca dos tubérculos quando comparados aos biótipos 5 e 8 (Figura 9).

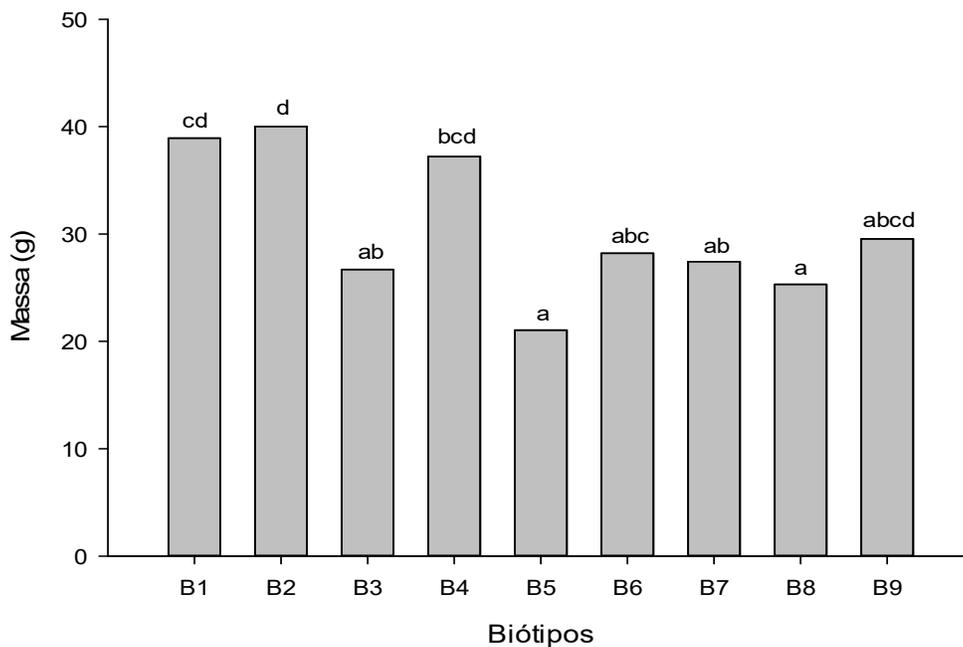
Verifica-se ainda, que o biótipo 3, que apresentou a maior massa média de tubérculos no momento do plantio em relação ao biótipo 1, demonstrou baixa produção de número e massa fresca de tubérculos aos 90 DAP, quando comparado a esse mesmo biótipo. No entanto, ao analisarmos os demais biótipos, não é possível traçar uma linha de proporcionalidade entre esses parâmetros.

Figura 8 – Número de tubérculos produzidos pelos biótipos de *C. rotundus* (L.) em 90 DAP.



F = 9,32 *, CV (%) = 19,65, DMS = 22,93. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

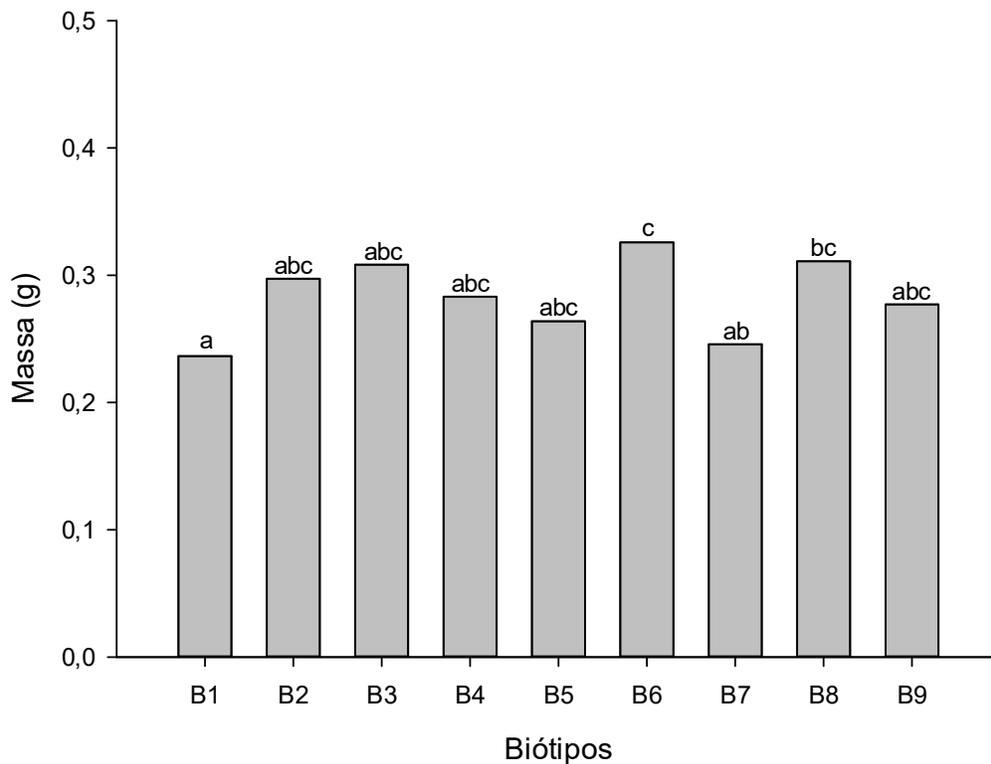
Figura 9 – Massa fresca de tubérculos produzidos pelos biótipos de *C. rotundus* (L.) aos 90 DAP.



F = 1,91*, CV (%) = 35,22, DMS = 1147. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

A avaliação de massa fresca média dos tubérculos produzidos aos 90 DAP, estabelece a relação entre a massa e o número de tubérculos produzidos nesse período (Figura 10). Os biótipos 6 e 8 apresentaram maior massa fresca média de tubérculos em relação ao biótipo 1.

Figura 10 – Massa fresca média dos tubérculos produzidos aos 90 DAP pelos biótipos de *C. rotundus* (L.).



F = 1,02*, CV (%) = 23,19, DMS = 0,07. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

A análise dos dados em conjunto, não possibilita a identificação de um padrão único de desenvolvimento entre todos os biótipos avaliados nesse ensaio. Pitelli et al. (1983), ao estudar a competição interespecífica da tiririca *C. rotundus* (L.), observou que há uma tendência de quanto maior a massa atuante sobre os mesmos recursos maior a produção de tubérculos com a mesma massa final, ou seja, maior a produção de tubérculos, porém, menores em tamanho. Esses autores, explicam que essa massa atuante, por pertencer a mesma espécie, com recrutamento homogêneo de recursos em intensidades semelhantes no mesmo espaço e tempo favorecem a competição interespecífica.

Essa tendência não pode ser observada, de forma proporcional, no presente ensaio, uma vez que, a produção de massa seca atuante do biótipo 1 está entre as menores, dentre os biótipos avaliados e, esse biótipo, apresentou o maior número de tubérculos e também a menor massa média dos tubérculos produzidos. Desta forma, esse biótipo, apesar da menor massa atuante, produziu o maior número de tubérculos, porém menores.

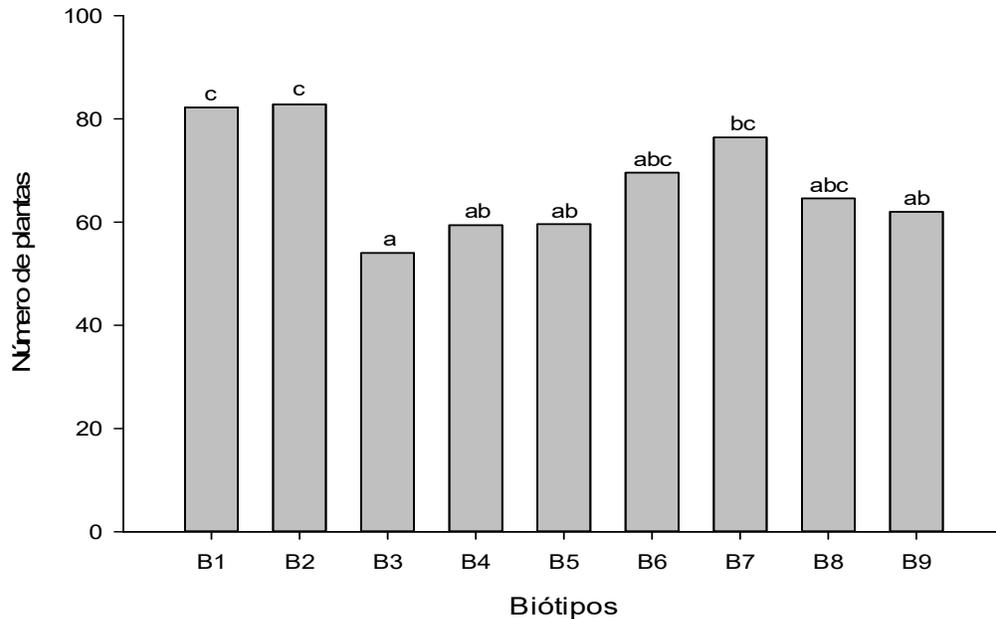
Embora a avaliação geral não permita a identificação de um comportamento padrão para todos os biótipos, é possível identificar que alguns deles apresentaram comportamentos semelhantes. O biótipo 4 mostrou-se como o mais competitivo dentre os analisados, pois, apresentou, quase que em totalidade, os maiores valores de número de plantas, massa fresca e seca da parte aérea, número de tubérculos e massa fresca dos tubérculos produzidos em 90 DAP. Enquanto os biótipos 3, 5, 8 e 9, de forma geral, apresentaram os menores valores.

Pereira (1998), demonstrou, ao estudar a espécie *C. rotundus* (L.), uma grande variabilidade genética dentro da espécie. Esse autor elucida que embora a tiririca possua um baixo índice de germinação de sementes (5% de um total de 131 milhões de sementes ha⁻¹), essa porcentagem é suficiente para garantir a diversidade genética dessa espécie, somada às possíveis mutações. Nesse sentido, a ausência de um padrão único no desenvolvimento dos biótipos de tiririca, encontrada nesse ensaio, é considerada como esperada.

Os tubérculos, produzidos pelos biótipos no ensaio de crescimento, foram transplantados e avaliados quanto à produção de plantas em 30 DAP (Figura 11) e índice de brotação de tubérculos (Figura 12). Os biótipos 1 e 2 apresentaram maior produção do número de plantas aos 30 DAP, quando comparados aos biótipos 3, 4, 5 e 9. Enquanto para a porcentagem de tubérculos brotados, os biótipos 1, 2, 4, 6 e 8 apresentaram os maiores índices de brotação quando comparados com o biótipo 9.

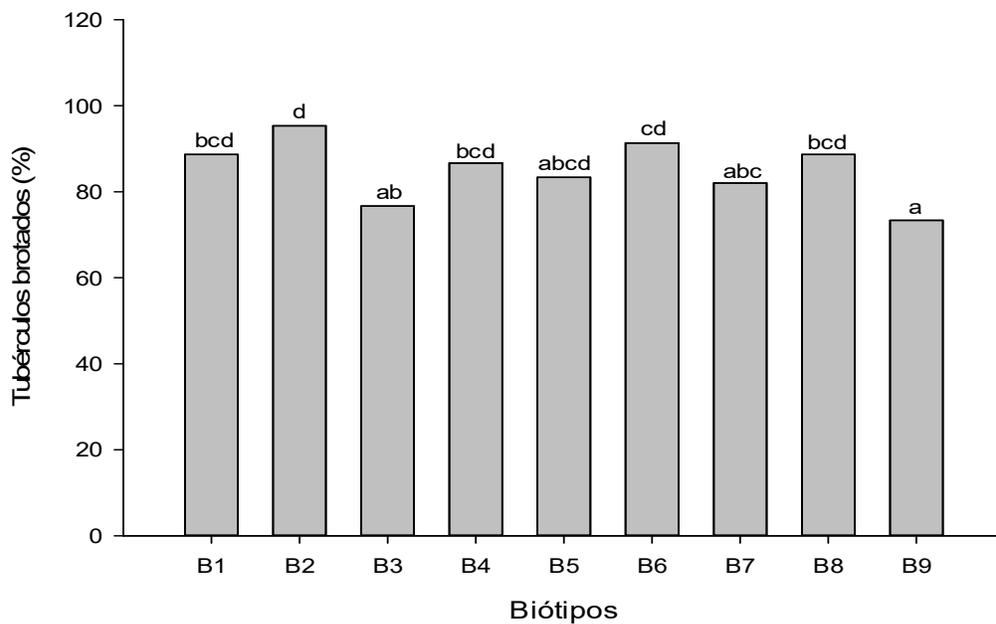
Portanto, ao avaliarmos os biótipos 1 e 2 em comparação com o biótipo 9, verifica-se que há uma relação proporcional. Quanto maior o índice de brotação, maior a quantidade de plantas produzidas. No entanto, os biótipos 4, 6 e 8 apresentaram maior brotação dos tubérculos quando comparados com o biótipo 9, porém, em relação ao número de plantas produzidas esses biótipos não diferiram estatisticamente.

Figura 11 – Número de plantas produzidas a partir de 30 tubérculos, oriundos do primeiro experimento, pelos biótipos de *C. rotundus* (L.) aos 30 DAP.



F = 1,79*, CV (%) = 25,83, DMS = 18,71. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

Figura 12 – Porcentagem de tubérculos brotados a partir de trinta tubérculos, oriundos do primeiro experimento, dos biótipos de *C. rotundus* (L.) aos 30 DAP.



F = 1,59*, CV (%) = 14,60, DMS = 13,26. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

Conforme mencionado anteriormente, a espécie alvo desse estudo (*C. rotundus* L.), apresenta dominância apical e dormência de gemas, que são, por sua vez, afetadas pela idade dos tubérculos (Mello et al., 2003). Segundo Smith & Fick (1937), a dominância apical e dormência de gemas foram observadas tanto no sistema de tubérculos e rizomas interligados como em tubérculos individuais.

Apesar da dominância apical ser o principal fator que interfere na dormência dos tubérculos de *C. rotundus* (L.), a umidade do solo, luz, temperatura e teor de oxigênio também influenciam na brotação das gemas dos tubérculos dessa espécie (Novo, 2004). Nesse sentido, é possível identificar que os biótipos 4, 6 e 8 apresentaram menor quebra da dominância apical quando comparados ao biótipo 9.

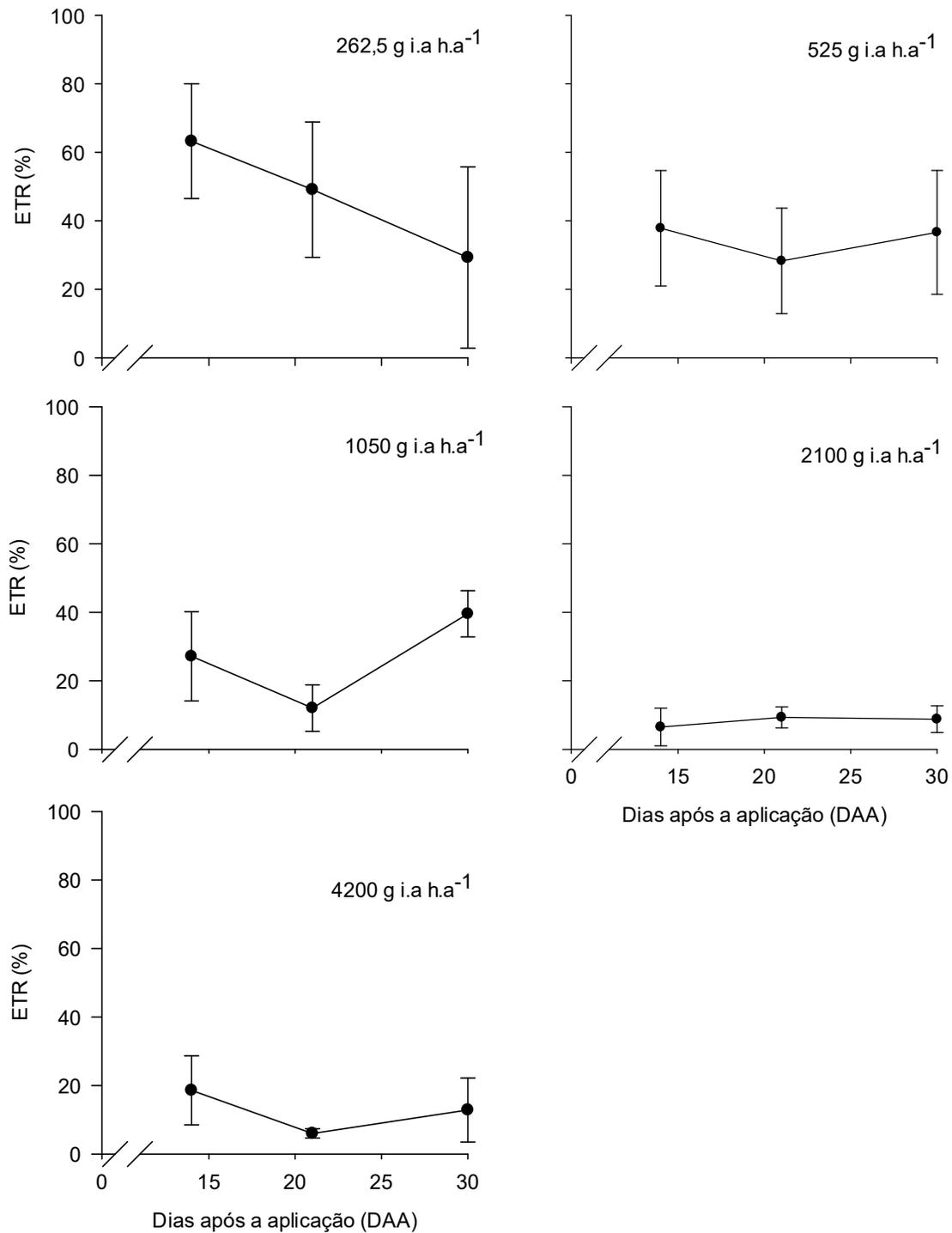
4.2 Experimento 2 - Curva de dose-resposta dos biótipos de tiririca *Cyperus rotundus* (L.) sob aplicação de amicarbazone em pré-emergência

As avaliações de ETR em relação à testemunha, para as cinco doses de amicarbazone e biótipos estão apresentadas nas figuras de 13 a 21. Verificou-se que os biótipos 4, 5, 6 e 9, quando submetidos à subdose de 262,5 g i.a. ha⁻¹ do herbicida amicarbazone, apresentaram, na avaliação realizada aos 14 dias após a aplicação (DAA), as menores reduções de ETR em relação às testemunhas quando comparados com os demais biótipos. No entanto, para os outros períodos avaliados e nas doses subsequentes, as reduções na ETR não mostraram o mesmo efeito.

Todos os biótipos, quando submetidos à dose de 1050 g i.a. ha⁻¹, apresentaram reduções na taxa de transporte de elétrons, porém, há uma tendência de recuperação parcial da ETR a partir dos 21 DAA até os 30 DAA, momento de término das avaliações deste ensaio.

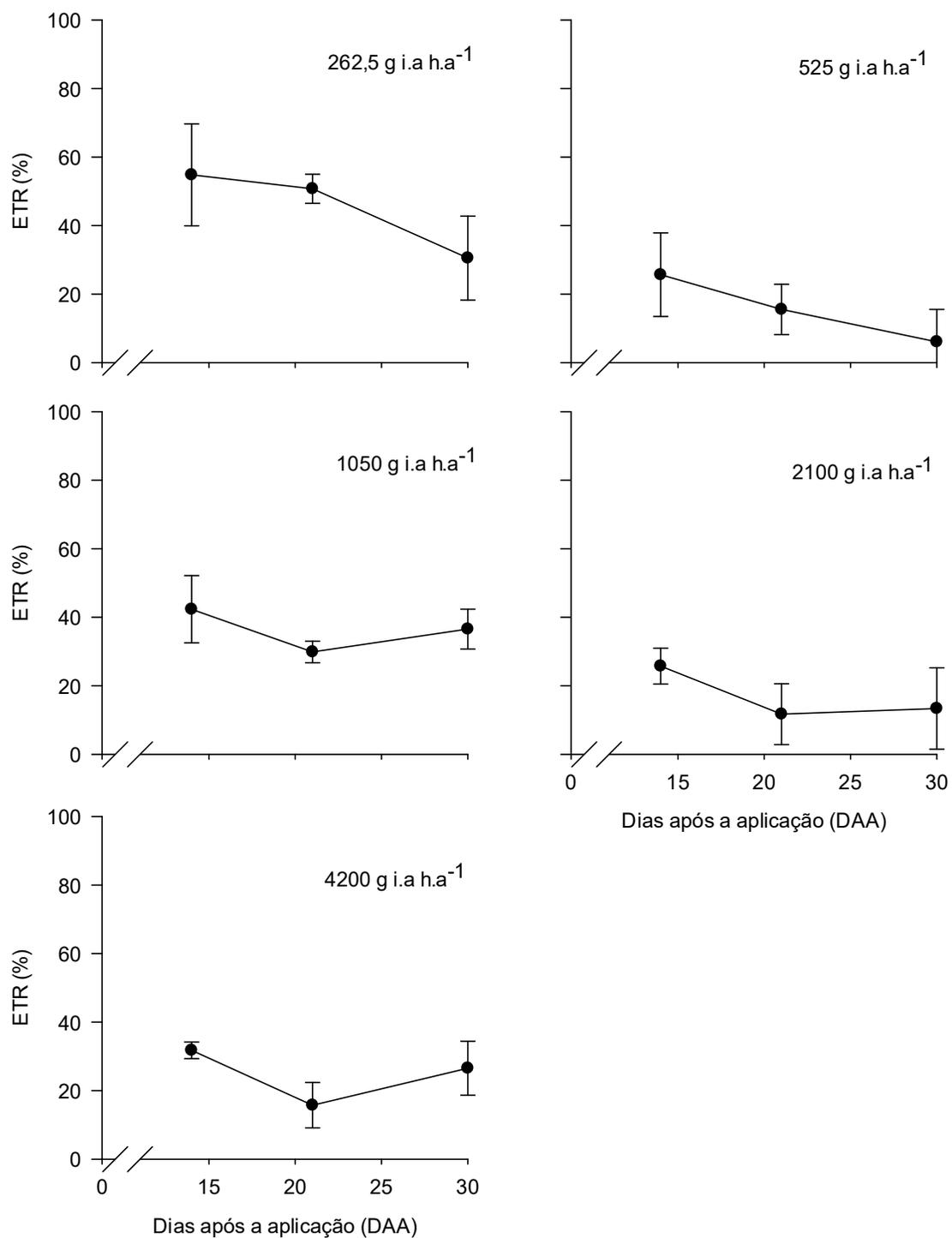
Para as avaliações nas plantas que receberam as aplicações das doses de 2.100 e 4.200 g i.a. ha⁻¹, verificou-se que todos os biótipos apresentaram maior redução da ETR quando comparados com os demais períodos de avaliação.

Figura 13 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 1 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



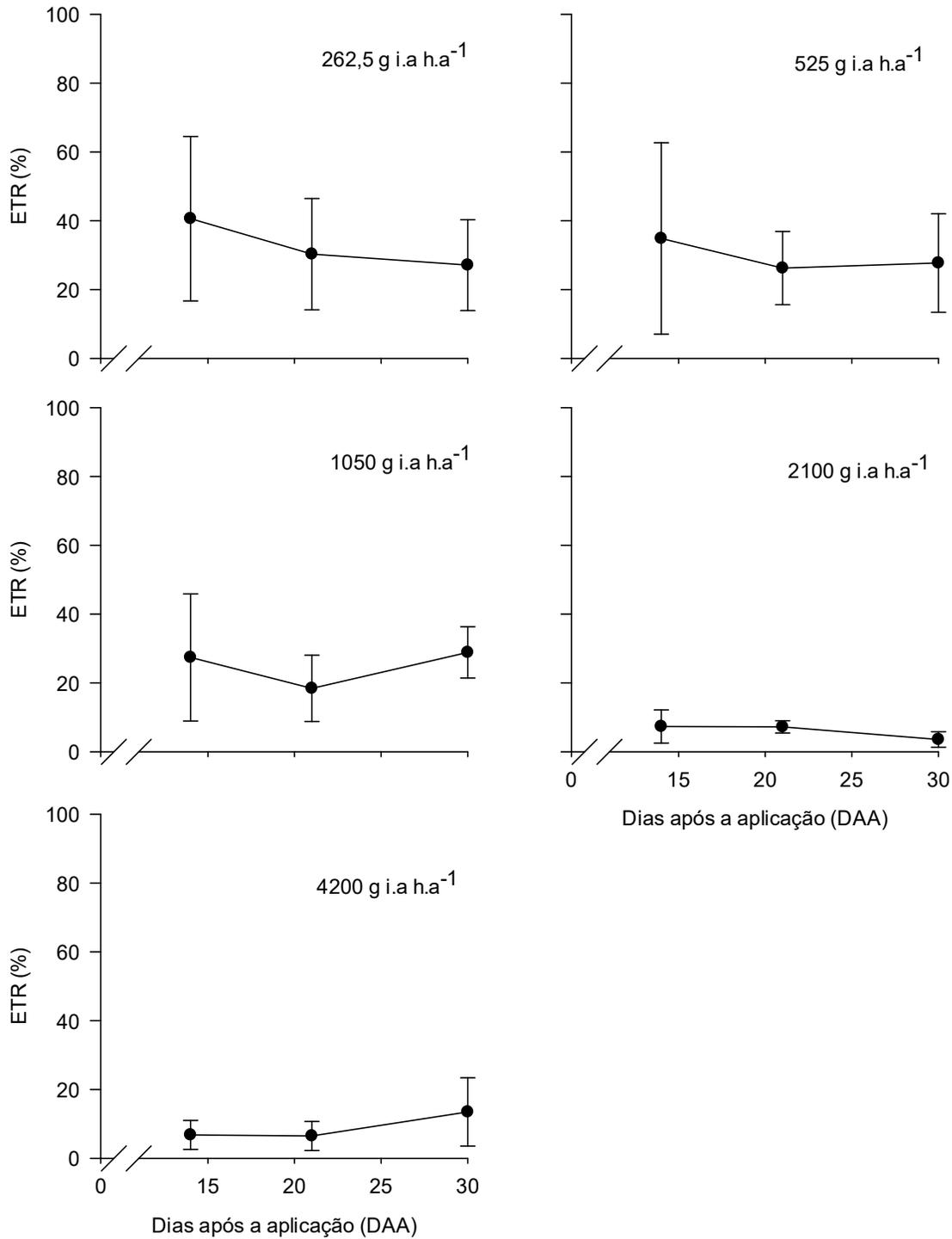
- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

Figura 14 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 2 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



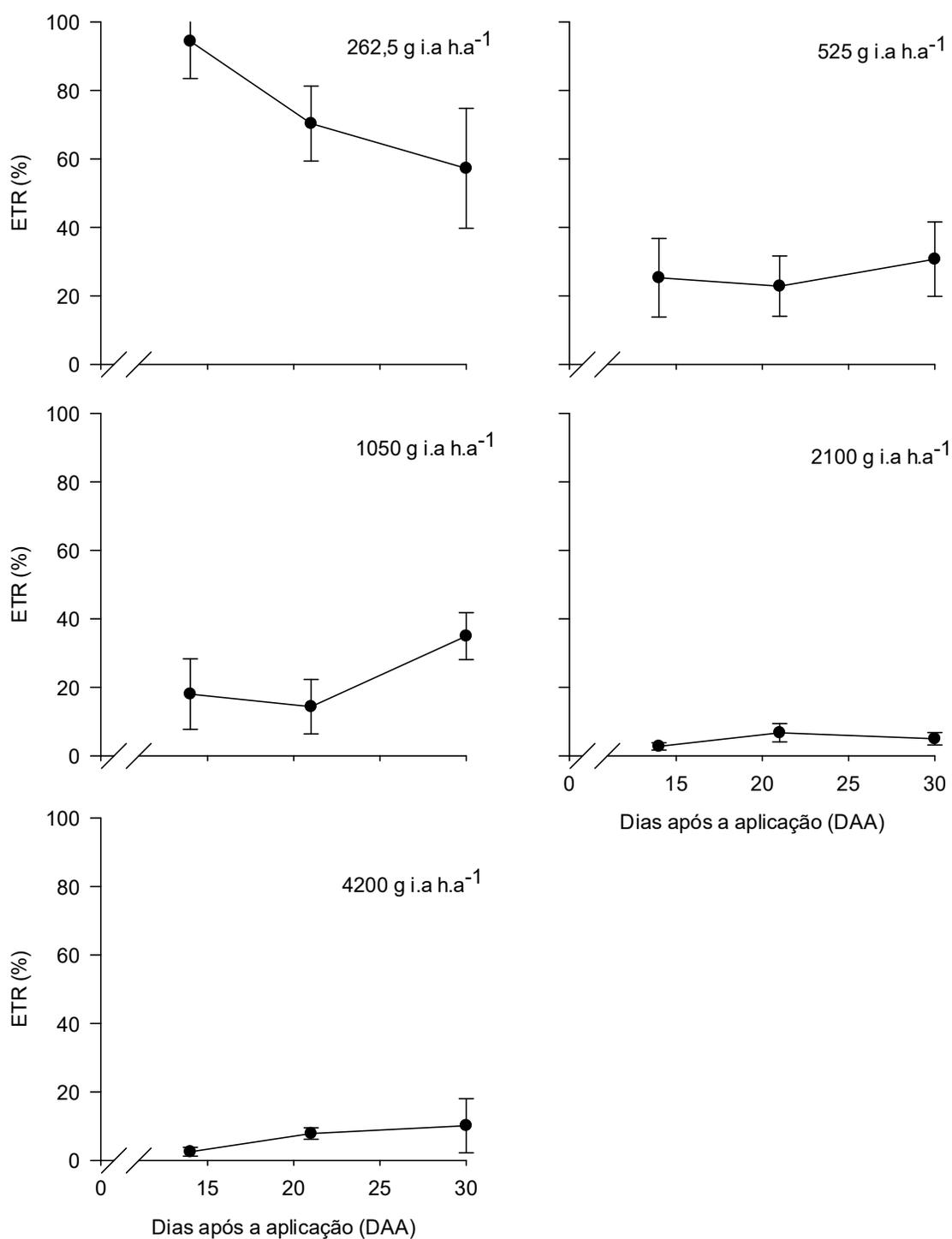
- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

Figura 15 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 3 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



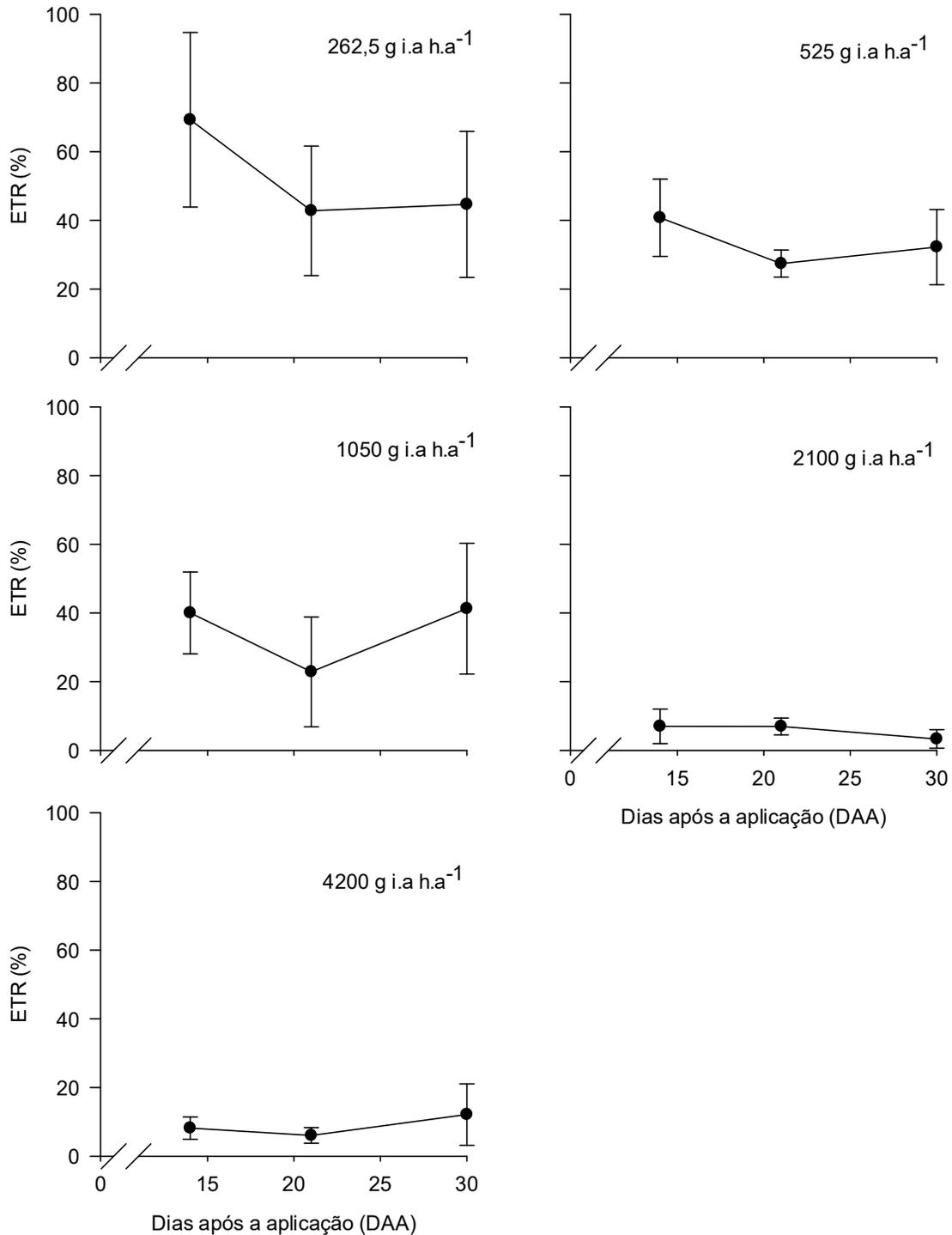
- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

Figura 16 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 4 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



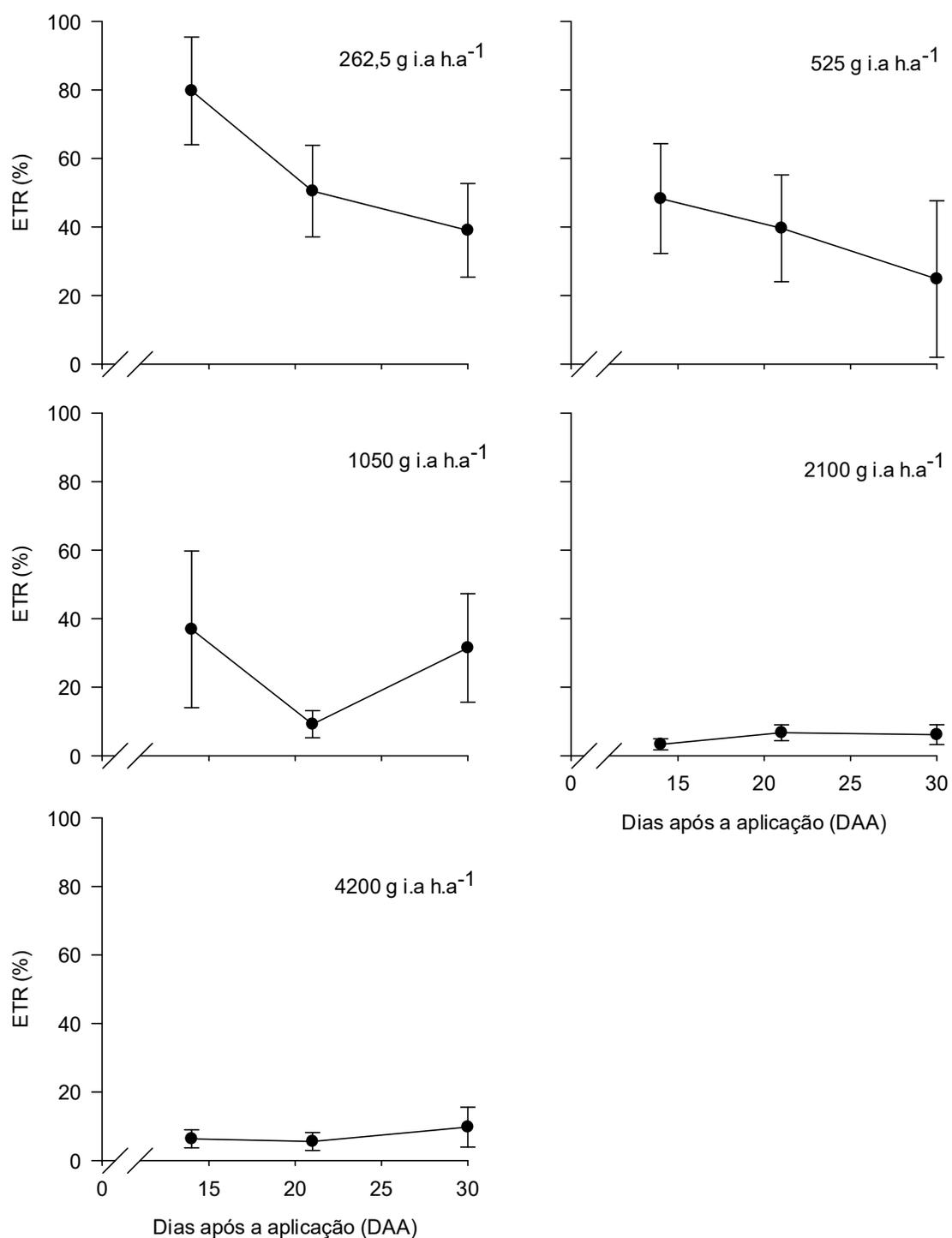
- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

Figura 17 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 5 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



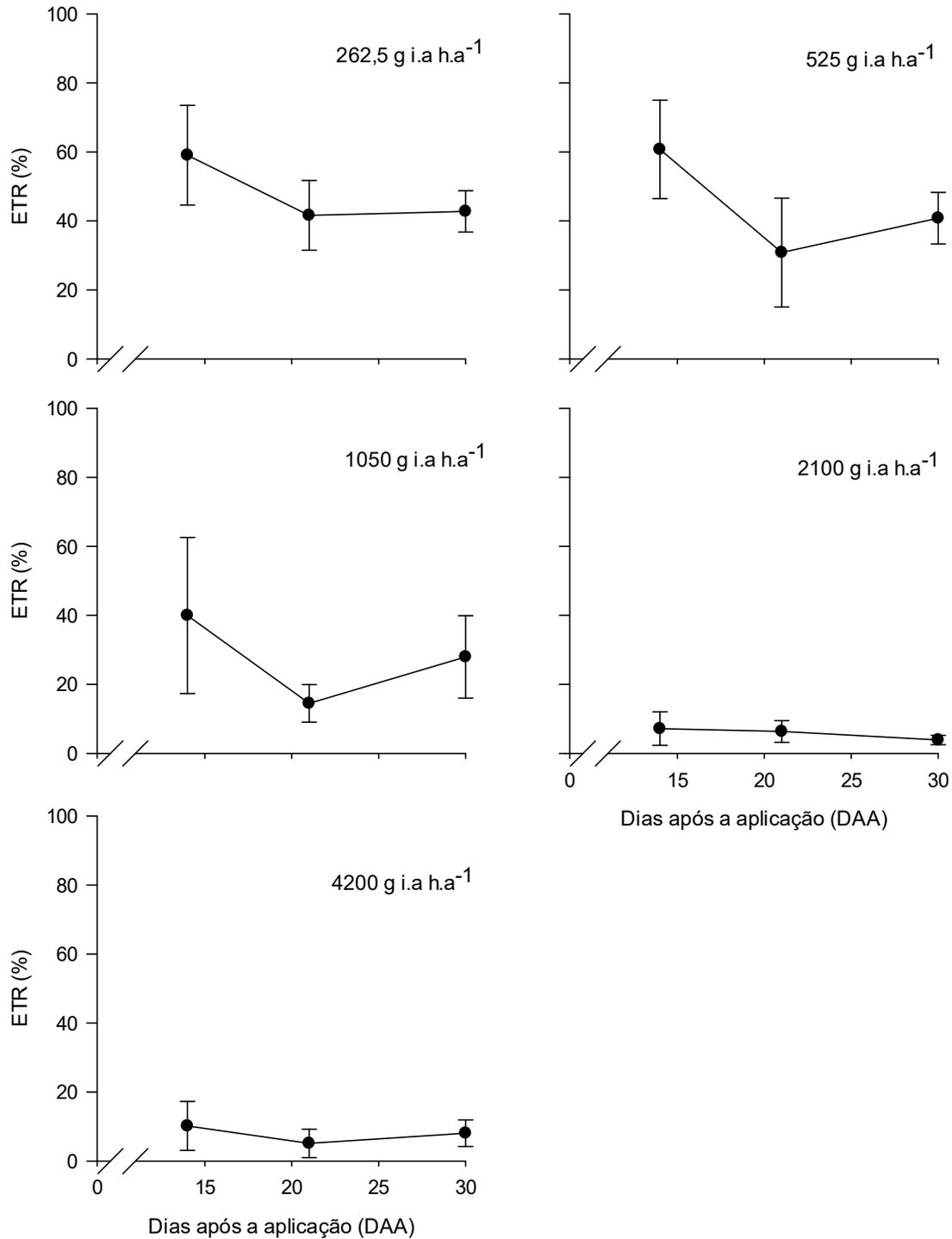
- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

Figura 18 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 6 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



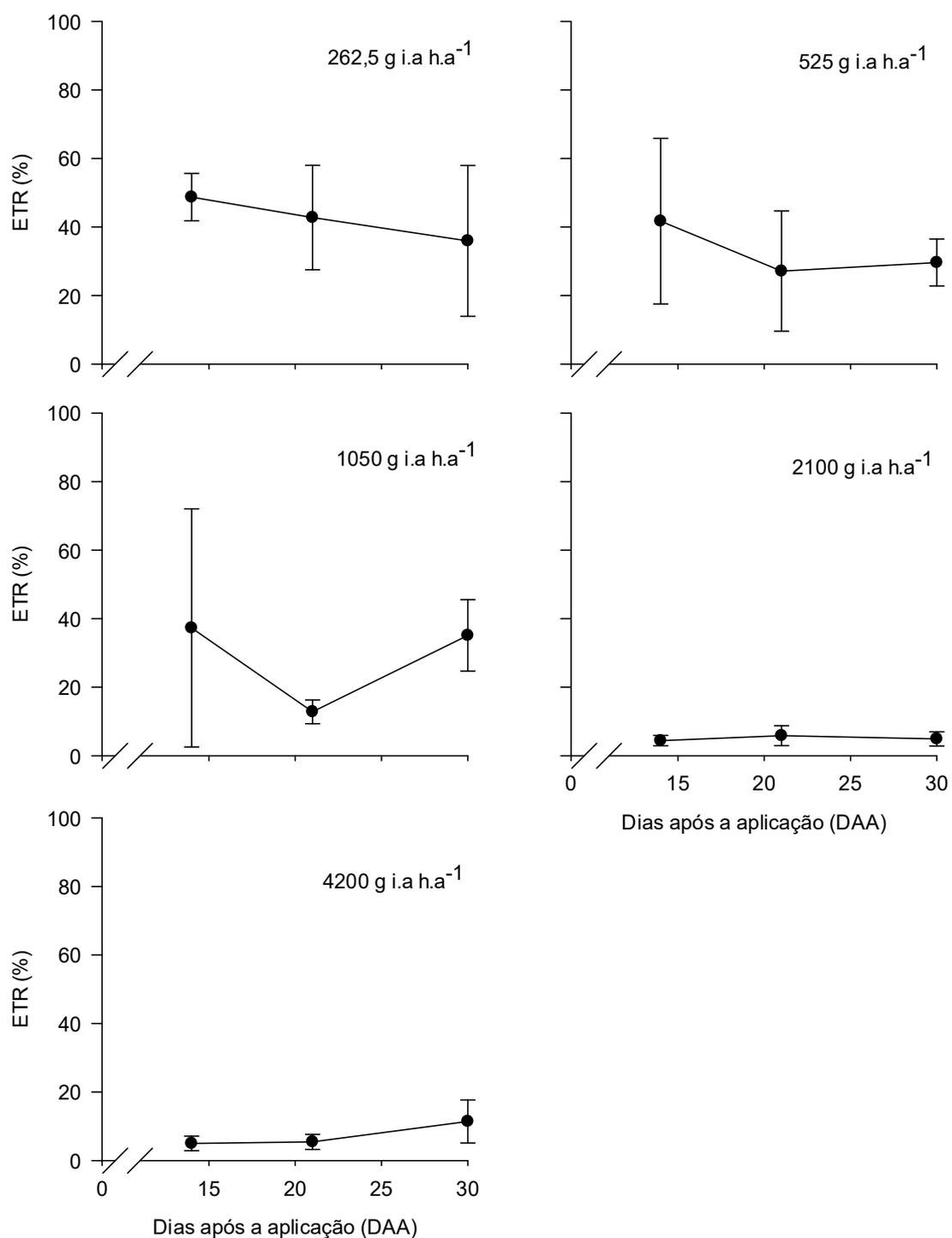
- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

Figura 19 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 7 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



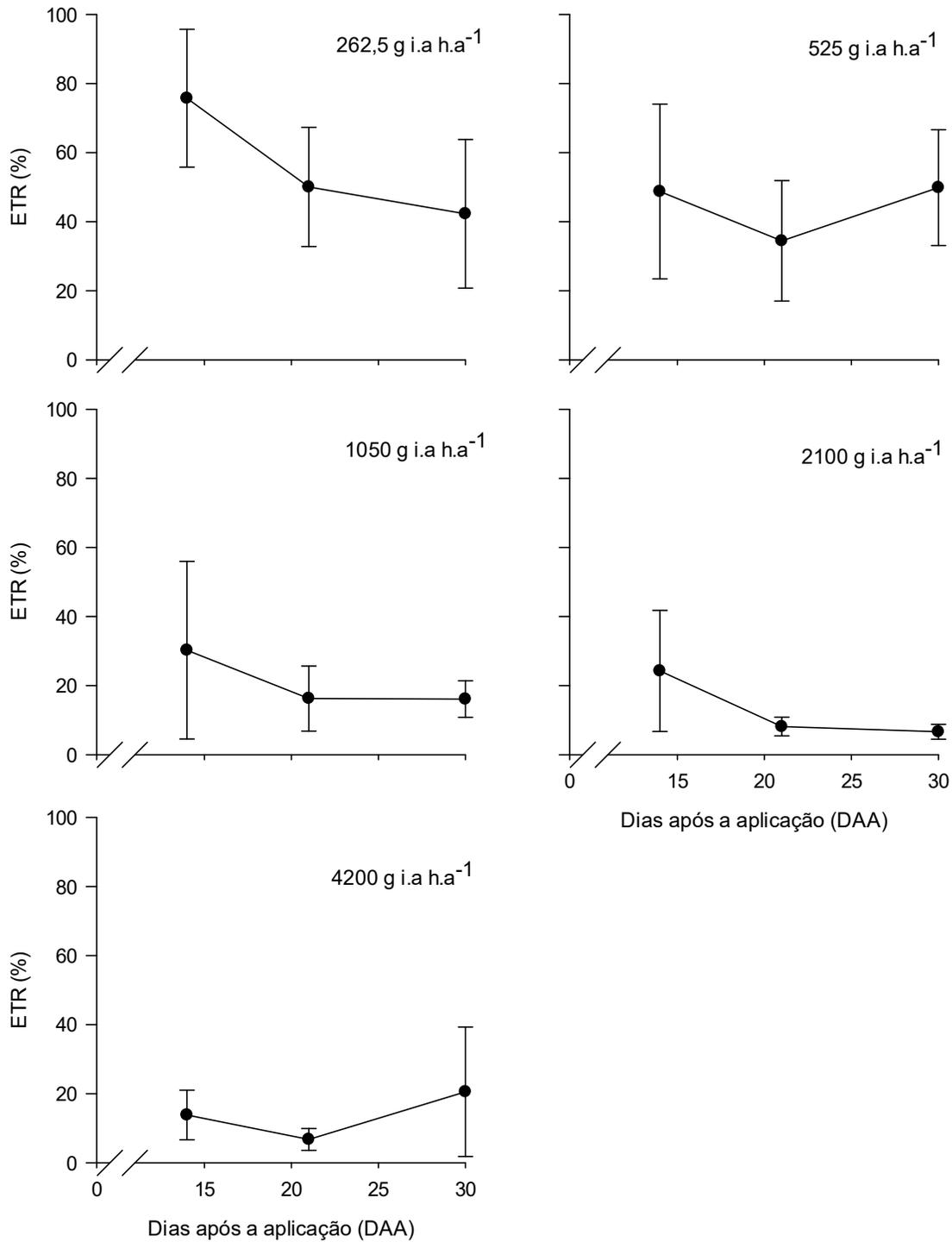
- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

Figura 20 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 8 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

Figura 21 – Taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA do biótipo 9 de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

A média das taxas de transporte de elétrons dos biótipos avaliados nesse ensaio (Figura 22) demonstra que houveram reduções na ETR em todos os biótipos avaliados e para todas as doses administradas e, apesar dos biótipos apresentarem diferenças no padrão de desenvolvimento, constatado no primeiro experimento, verificou-se semelhanças no comportamento das reduções da ETR em relação às testemunhas ao serem submetidos às mesmas doses do herbicida amicarbazone em pré-emergência.

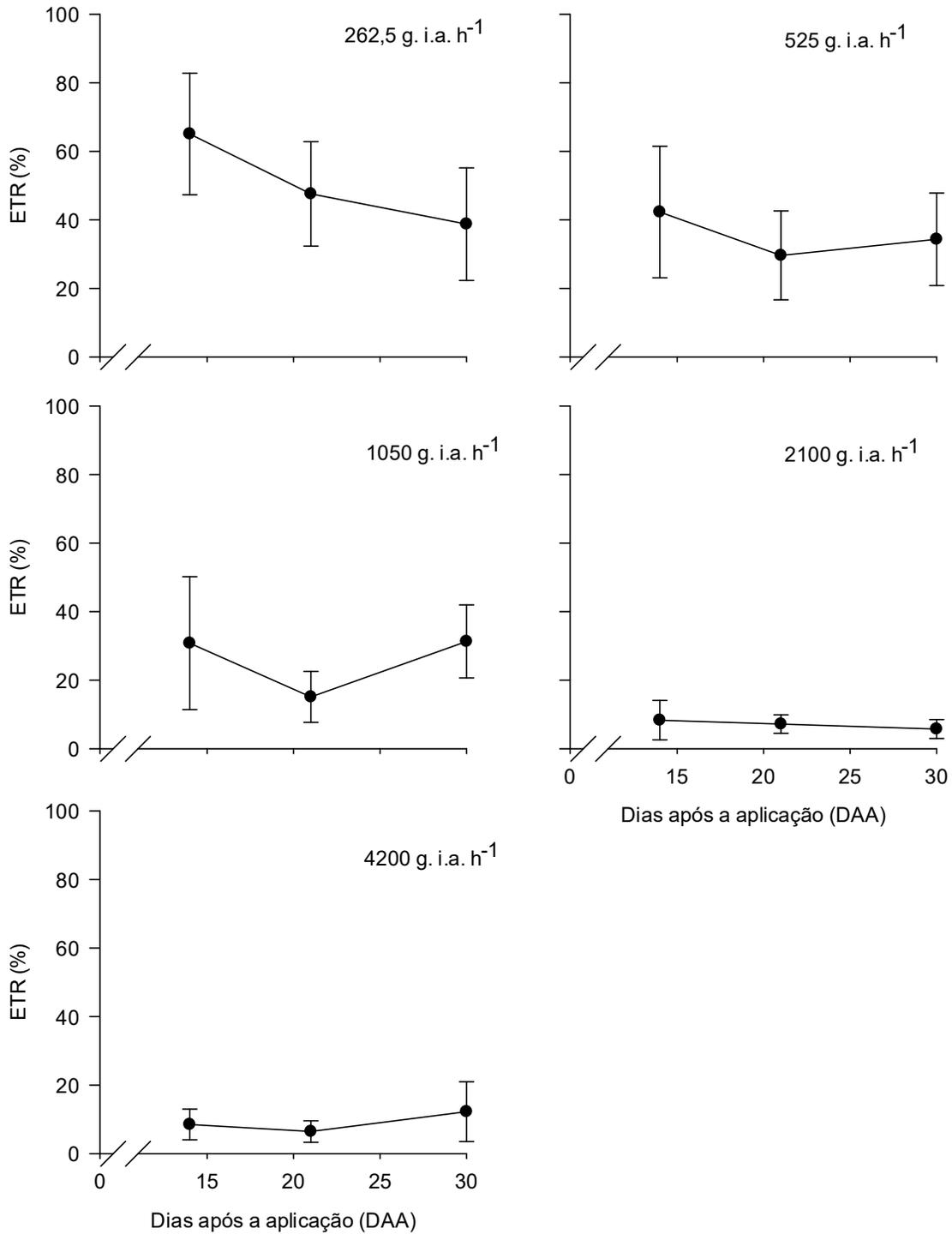
A mensuração da fluorescência pode ser utilizada para averiguar os diferentes níveis de suscetibilidade ou tolerância de plantas a herbicidas que atuam na inibição da fotossíntese (ARALDI et al., 2011; DAYAN & ZACCARO, 2012; GIROTTO et al., 2012). Segundo Perez-Jones et al. (2009), a interação entre um herbicida, que atua como inibidor do fotossistema II (FSII) e o sítio de ação, ocasiona em um bloqueio do fluxo de elétrons, que conseqüentemente, resulta na redução da ETR no FSII.

Para que haja o controle efetivo das plantas daninhas é necessário que a molécula do herbicida aplicado seja absorvida e translocada na planta alvo e chegue em seu sítio de ação em uma concentração suficiente para que ocorra o controle. O amicarbazone quando aplicado em pré-emergência, ou seja, no solo, é absorvido pelas raízes e translocado em rota apoplástica via xilema, o fluxo transpiratório auxilia a movimentação do herbicida das plantas até as folhas (CAMPOS, et al., 2009).

A metabolização do amicarbazone em metabólitos menos ou não tóxicos a planta é outro mecanismo que pode explicar a recuperação na taxa de ETR dos biótipos, diversos autores têm relatado casos de metabolização deste herbicida. Yu et al. (2015) relataram a metabolização de amicarbazone em *Cynodon dactylon* e *Festuca arundinacea*. Yu et al. (2013) identificaram que as espécies *Poa annua* e *Agrostis stolonifera* também são capazes de metabolizar esse herbicida.

Nesse contexto, a redução e posterior aumento das taxas de transporte de elétrons, verificadas nesse ensaio, são indícios de uma menor interação das moléculas do amicarbazone com seu sítio de ação. No entanto, não é possível identificar se esse fenômeno tem relação com a capacidade da espécie em absorção, translocação e/ou metabolização do herbicida.

Figura 22 – Média da taxa de transporte de elétrons (ETR - % em relação à testemunha) aos 14, 21 e 30 DAA dos biótipos de *C. rotundus* (L.) após a aplicação das doses de amicarbazone.



- Barras correspondentes ao intervalo de confiança das médias ($p \leq 0,05$).

A avaliação do número de plantas produzidas aos 30 DAA em relação às respectivas testemunhas, sob efeito das doses de amicarbazone aplicadas em pré-emergência da tiririca permitiu identificar que todos os biótipos apresentaram, em algum momento, maior número de plantas emergidas em relação às parcelas que não receberam aplicação do herbicida (Figura 23). Ainda na mesma avaliação, observou-se que não há relação direta ou inversamente proporcional entre o aumento das doses de amicarbazone administradas e o número de plantas produzidas pelos biótipos.

Nas avaliações de massa fresca e seca das plantas em relação às doses de amicarbazone utilizadas, verificou-se que ambas as doses proporcionaram redução das massas seca e fresca em relação às testemunhas para os biótipos 2 e 6, enquanto, para os biótipos 8 e 9 não resultaram nesse mesmo efeito (Figura 24). Identificou-se também que os valores de massa não diminuem nem aumentam proporcionalmente à medida em que se eleva as doses do herbicida, a ausência da proporcionalidade é também identificada em relação ao número de plantas produzidas pelos biótipos.

Como mencionado anteriormente, a tiririca é uma espécie que apresenta dominância apical de gemas. Segundo Jangaard et al. (1971), as gemas dormentes saem desse estado quando a brotação originada da gema apical morre ou é danificada. Esses mesmos autores avaliaram que a dormência das gemas é influenciada pela quantidade de ácido salicílico e eugenol, esses hormônios em baixas quantidades não promoveram a brotação dos tubérculos, mas com a aplicação exógena de ácido salicílico houve maior brotação.

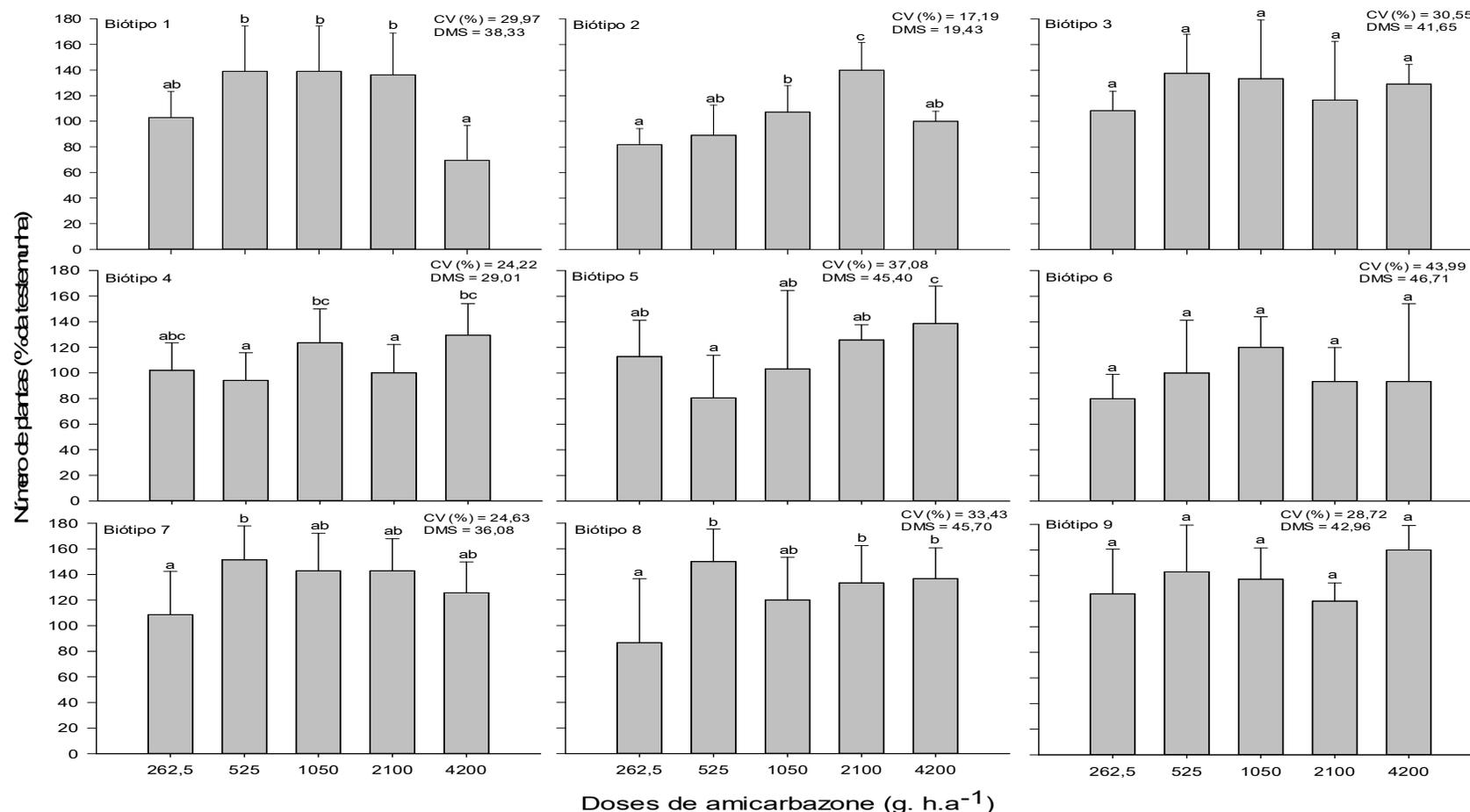
Segundo Teo et al. (1974), os tubérculos que se apresentam dormentes possuem deficiência em uma citocinina, desta forma, também se altera o balanço entre promotores e inibidores de brotação, a favor da inibição. Bell et al. (1962), identificaram que a dormência, nessa espécie, pode ser quebrada quando há alteração no balanço entre compostos, como no caso do ácido giberélico, benzyladenine, éter-etil, etileno, H_2O_2 , KSCN e tiouréia, e que esse efeito varia conforme a concentração dos mesmos. Ademais, a umidade do solo, luz, temperatura e teor de oxigênio também influenciam na brotação das gemas dos tubérculos dessa espécie (NOVO, 2004).

Nesse sentido, é possível que o efeito da ação do herbicida amicarbazone nos biótipos de tiririca tenha desencadeado uma alteração no balanço hormonal a favor da brotação das gemas dormentes, o que pode explicar, em parte, a maior produção de plantas em relação às parcelas não aplicadas. No entanto, como mencionado anteriormente, houve redução da ETR para todos os biótipos avaliados nesse ensaio, quando submetidos às doses de amicarbazone e, mesmo com a fotossíntese reduzida, esses biótipos apresentaram, em algumas avaliações, maior quantidade de plantas em relação às parcelas não aplicadas.

Segundo Hammerton (1975), os tubérculos iniciais da *C. rotundus* (L.) são importantes para o crescimento da espécie, uma vez que são fontes iniciais e posteriores de reserva nutricional. Dessa forma, é possível identificar que os tubérculos desses biótipos serviram como fonte de energia para o desenvolvimento dessas plantas, mesmo sob o efeito de redução da fotossíntese provocados pelas doses do herbicida amicarbazone.

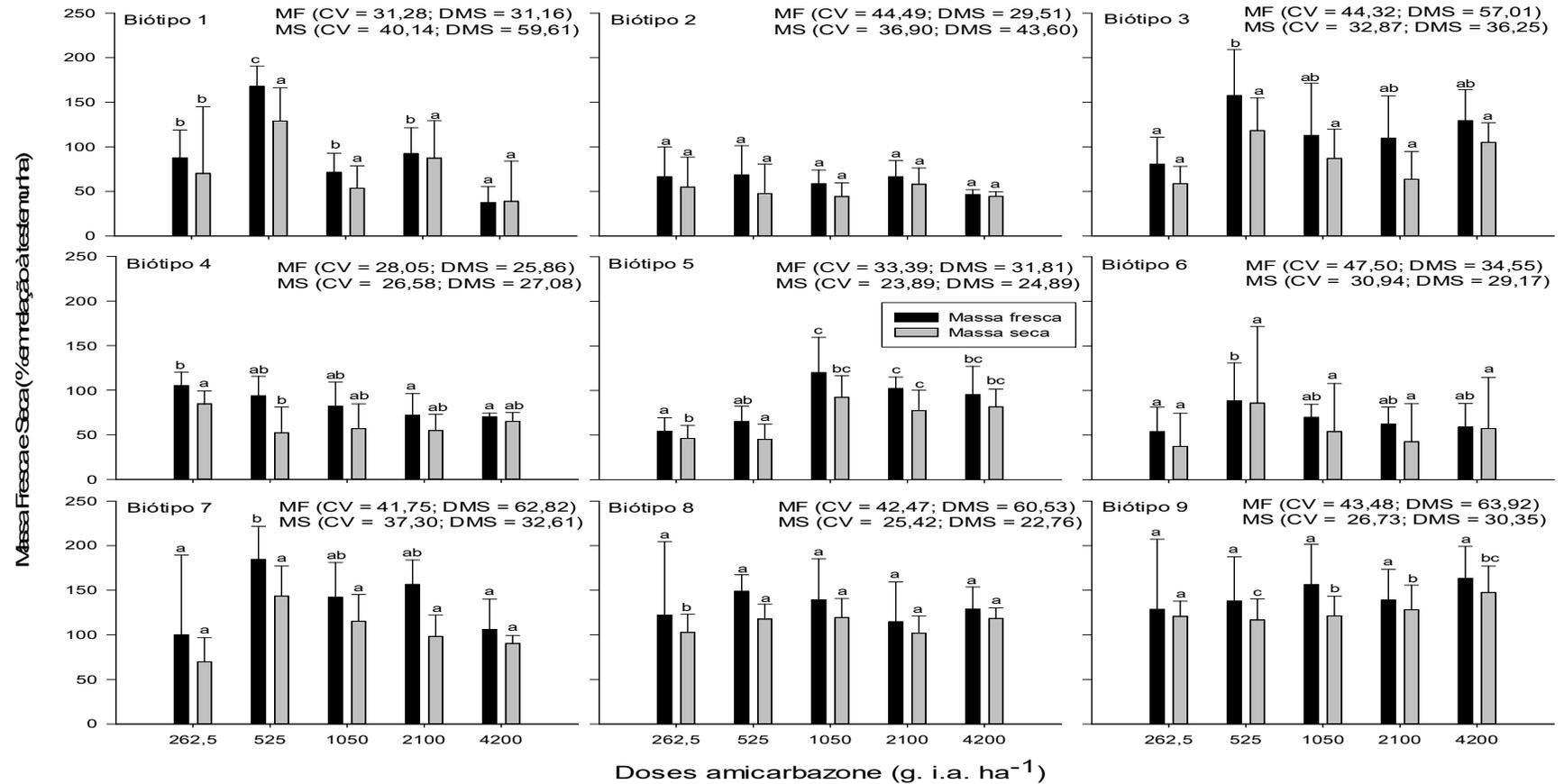
Em relação às avaliações de massa fresca e seca, devido aos fatores que influenciam na quebra da dominância apical, é possível inferir que esse fenômeno pode ocorrer em momentos distintos do desenvolvimento dos biótipos de tiririca e como consequência as gemas dormentes brotem de forma irregular no tempo, fazendo com que o resultado das avaliações de massa fresca e seca seja composto por plantas de diferentes idades.

Figura 23 - Número de plantas produzidas aos 30 DAA pelos biótipos de *C. rotundus* (L.) após a aplicação de doses do herbicida amicarbazone em pré-emergência.



- *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$). Barras correspondem ao intervalo de confiança ($p \leq 0,05$)

Figura 24 – Massas fresca e seca produzidas pelos biótipos de *C. rotundus* (L.) 30 DAA das doses do herbicida amicarbazone em pré-emergência.



- Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$). Barras correspondem ao intervalo de confiança ($p \leq 0,05$). F, CV (%) e DMS em anexo.

4.3 Experimento 3 – Avaliação da metabolização do herbicida amicarbazone pela tiririca *Cyperus rotundus* (L.) aplicado em pós-emergência

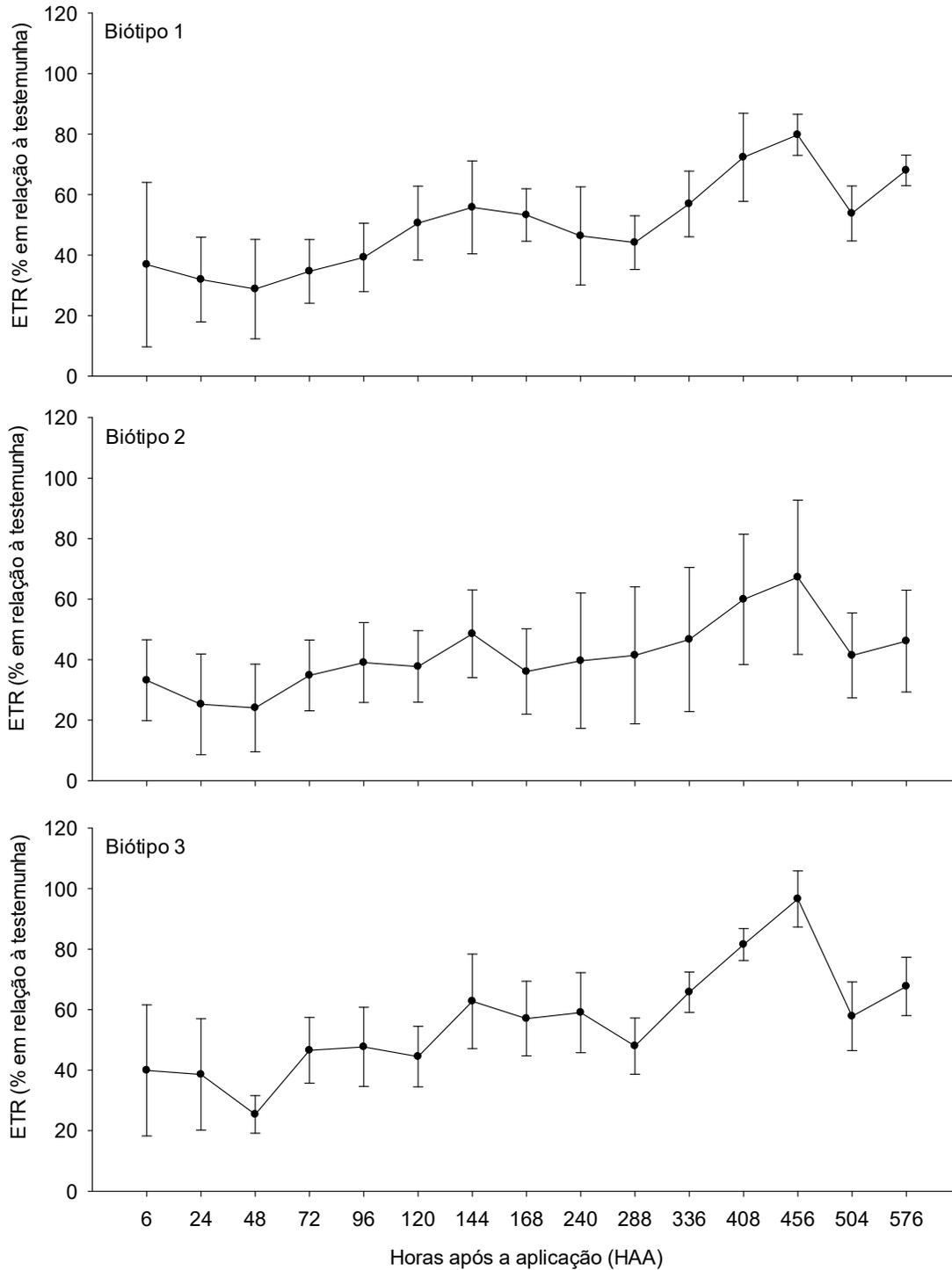
A avaliação da ETR nos biótipos de *Cyperus rotundus* (L.) sob efeito da dose de 1050 g. i.a. ha⁻¹ aplicado em pós-emergência da planta daninha estão apresentadas nas Figuras 25, 26 e 27. O biótipo 4 apresentou a maior redução da ETR e menores índices de recuperação em relação à testemunha quando submetido às doses do herbicida em pós-emergência, esse mesmo biótipo, apresentou, no primeiro experimento, os maiores valores em número de plantas, massa fresca e seca da parte aérea, número e massa fresca de tubérculos.

A deposição e absorção, além dos teores de amicarbazone (AMK) e seus metabólitos, desamino-amicarbazone (DA) e N-Me des-amino (N-Me DA) foram quantificados e estão apresentados na Tabela 4. A maior deposição do herbicida ocorreu nos biótipos 2, 5 e 8 (172,59; 155,72; 158,93, respectivamente), quando comparados aos biótipos 7 e 9 (80,87 e 100,42). Quanto a absorção do herbicida, o biótipo 1 apresentou maior índice (37,94%) quando comparado aos biótipos 2, 3, 4 e 9 (27,34; 27,35; 25,25 e 25,81, respectivamente). No entanto, o maior teor interno de amicarbazone nas plantas foi observado para os biótipos 1, 2, 5 e 8, que diferiram significativamente dos biótipos 7 e 9.

Assim, foi possível identificar que o maior teor de AMK dentro das plantas dos biótipos 2, 5 e 8 ocorreram em função da maior deposição de herbicida sobre esses biótipos. Enquanto para o biótipo 1 esse fato foi devido à maior taxa de absorção do herbicida. Nesse sentido, identifica-se também que os biótipos apresentaram capacidades diferentes de absorção.

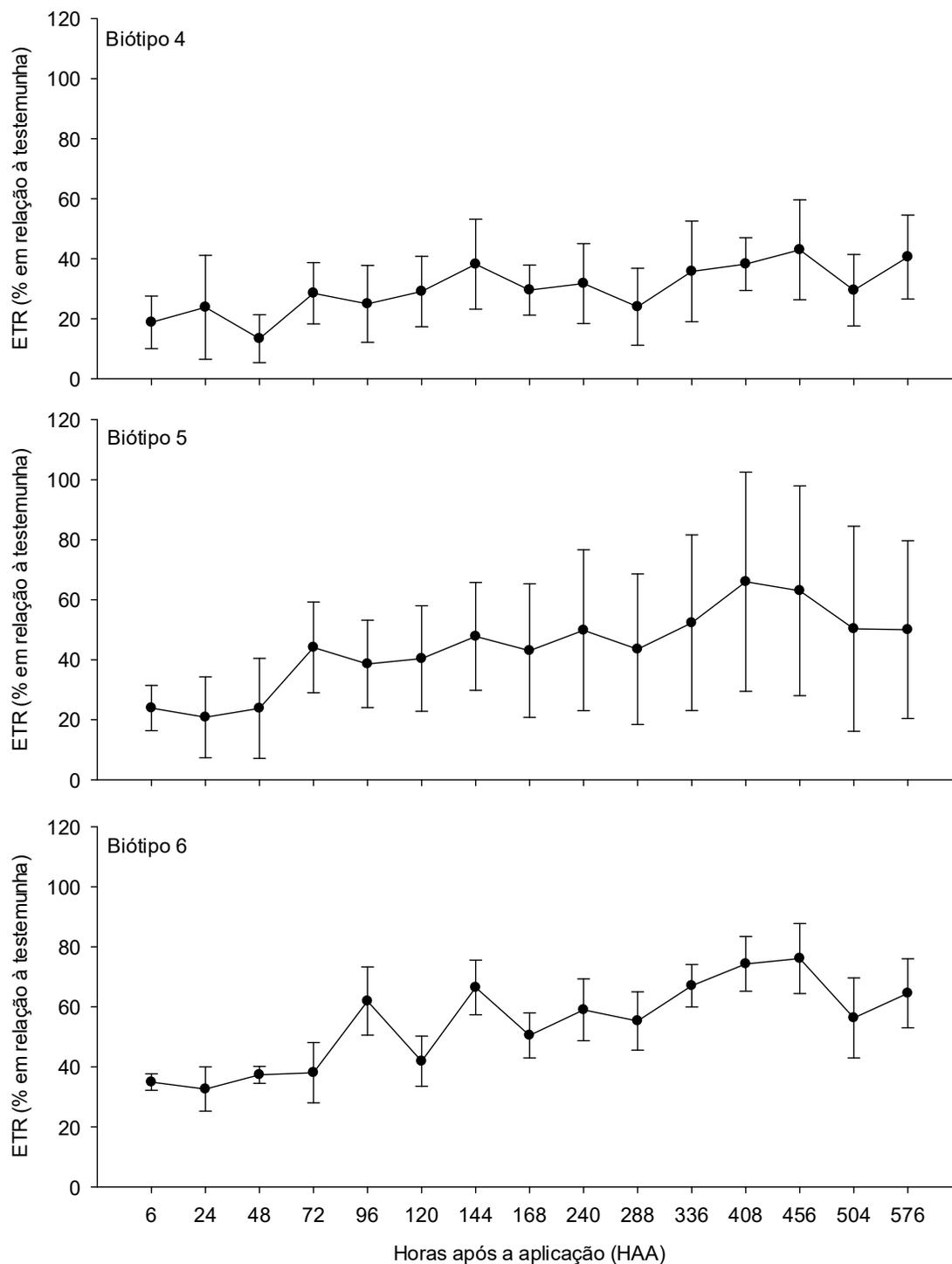
A absorção foliar de herbicidas está relacionada às propriedades das folhas das plantas, como a idade, a espessura da cutícula e ceras epicuticulares (CHACHALIS et al. 2001; KALNAY e GLENN 2000; SANYAL et al. 2006; WANAMARTA e PENNER 1989). Segundo Silva et al. (2013), quando os herbicidas são aplicados em pós-emergência, as folhas são a via principal de absorção dos herbicidas. Esses autores, relatam que a duração desse processo difere conforme a espécie, idade da planta, da concentração do herbicida e condições ambientais.

Figura 25 – Taxa de transporte de elétrons (% em relação à testemunha) dos biótipos 1, 2 e 3 após a aplicação do herbicida amicarbazone na dose de 1050 g. i.a. ha⁻¹ em pós-emergência.



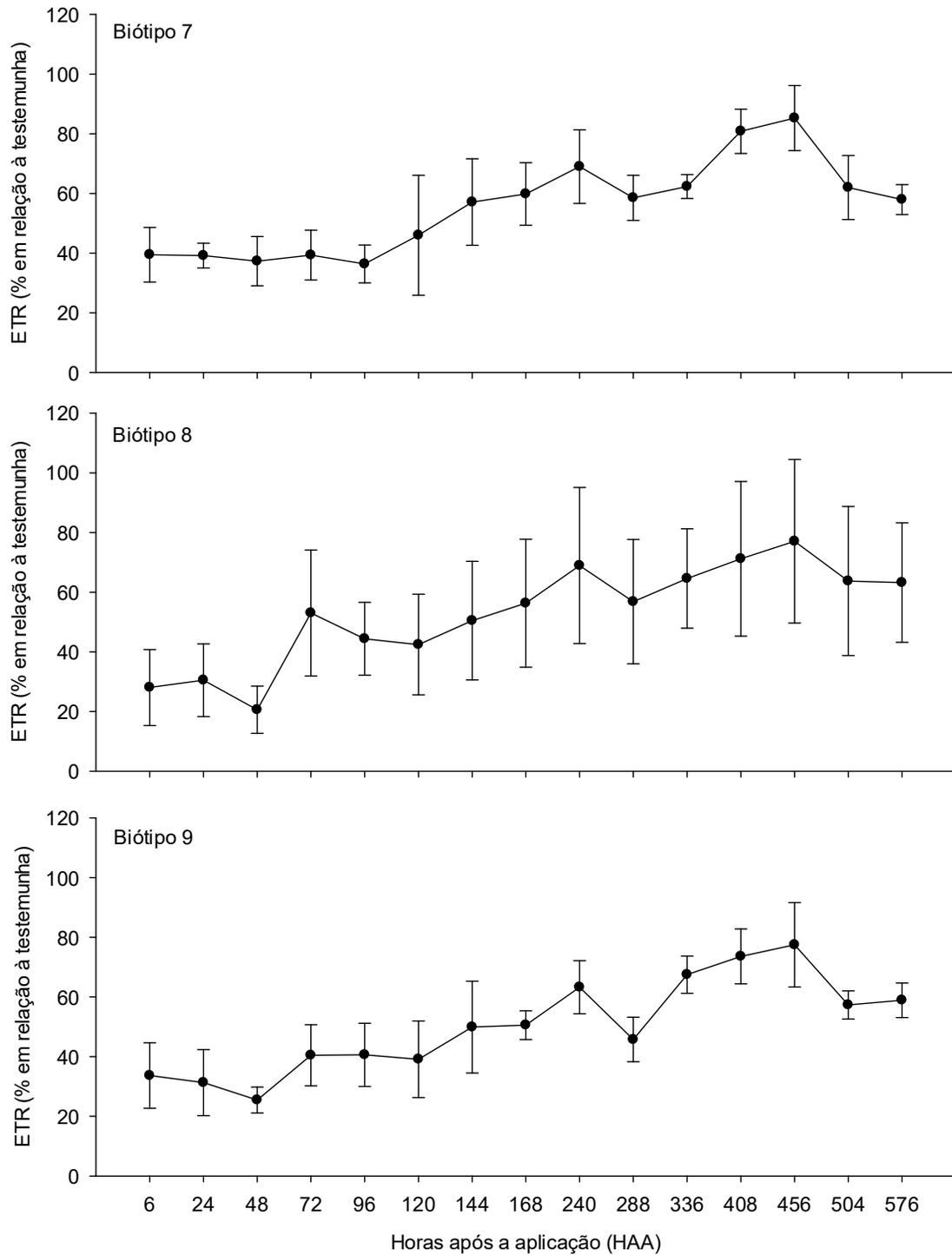
– Barras correspondem ao intervalo de confiança ($p \leq 0,05$)

Figura 26 – Taxa de transporte de elétrons (% em relação à testemunha) dos biótipos 4, 5 e 6 após a aplicação do herbicida amicarbazone na dose de 1050 g. i.a. ha⁻¹ em pós-emergência.



– Barras correspondem ao intervalo de confiança ($p \leq 0,05$)

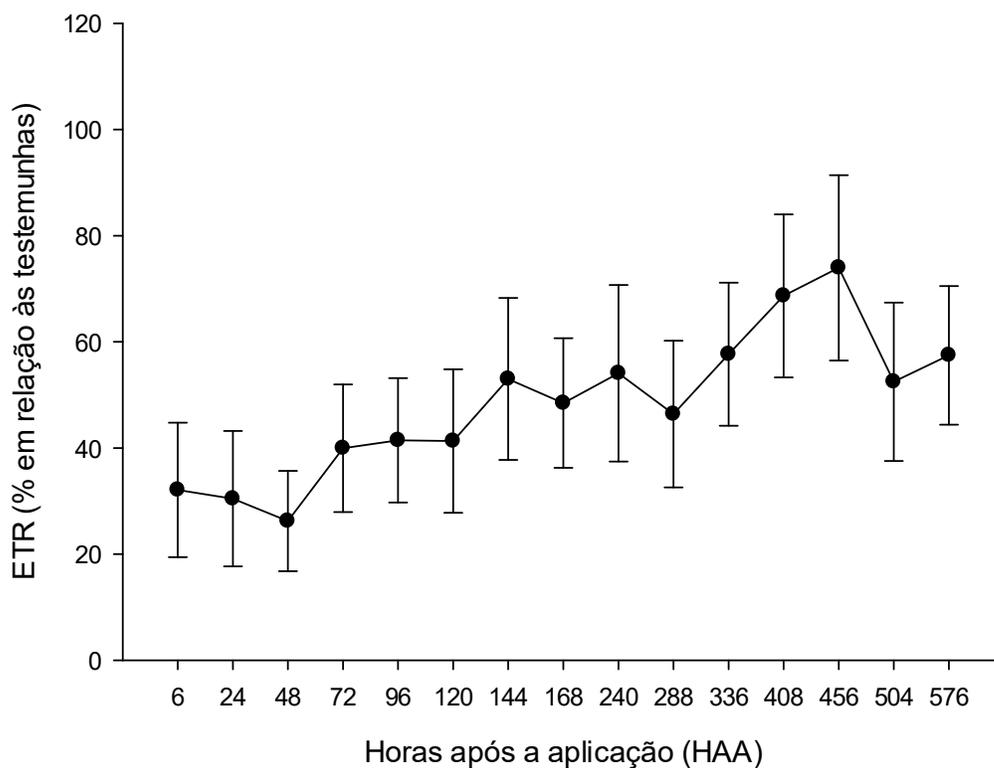
Figura 27 – Taxa de transporte de elétrons (% em relação à testemunha) dos biótipos 7, 8 e 9 após a aplicação do herbicida amicarbazone na dose de 1050 g. i.a. ha⁻¹ em pós-emergência.



– Barras correspondem ao intervalo de confiança ($p \leq 0,05$)

Verifica-se ao analisar a média da ETR dos biótipos avaliados (Figura 28), que os biótipos, quando analisados em conjunto, apresentaram reduções na ETR quando comparados às testemunhas, e houve, ao longo do tempo, a recuperação parcial na taxa de transporte de elétrons.

Figura 28 – Média da taxa de transporte de elétrons (ETR – % em relação às testemunhas) dos 9 biótipos avaliados



- Barras correspondem ao intervalo de confiança ($p \leq 0,05$)

Tabela 4 – Deposição (DEP), absorção (ABS) e quantificação de Amicarbazone (AMK), e seus metabólitos: desamino-amicarbazone (DA) e N-methylated des-amino (N-Me DA) na umidade externa (U) e parte aérea das plantas aos 7 DAA, nos biótipos sob aplicação do herbicida amicarbazone em pós-emergência da planta daninha (Valores de Deposição, Teor interno, AMK, DA e N-Me DA em $\mu\text{g. g. massa seca}$).

Biótipos	DEP	ABS (%)	U - 7 DAA	Parte aérea das plantas 7 DAA						
			AMK	TEOR	AMK	DA	N-Me DA	AMK%	DA%	N-Me DA%
B1	130,85 abc	37,94 b	78,93 ab	48,84 b	35,75 b	8,61 bc	4,48 d	73,2	17,64	9,16
B2	172,59 c	27,34 a	117,16 c	50,28 b	37,15 b	9,3 c	3,83 d	73,89	18,5	7,62
B3	118,39 ab	27,35 a	82,02 abc	33,04 ab	26,78 ab	5,3 abc	0,96 ab	81,07	16,03	2,9
B4	121,48 abc	25,25 a	84,55 abc	33,33 ab	25,3 ab	7,1 abc	0,92 ab	75,91	21,31	2,77
B5	155,72 bc	30,34 ab	102,62 bc	47,59 b	37,23 b	9,16 c	1,2 ab	78,23	19,25	2,51
B6	109,25 ab	30,95 ab	72,85 ab	33,40 ab	28,14 ab	4,5 ab	0,77 a	84,23	13,47	2,3
B7	80,87 a	28,70 ab	56,41 a	22,43 a	17,29 a	3,5 a	1,65 bc	77,07	15,58	7,35
B8	158,93 bc	32,37 ab	105,93 bc	48,60 b	40,31 b	7,18 abc	1,11 ab	82,93	14,78	2,29
B9	100,42 a	25,81 a	72,12 ab	25,54 a	17,45 a	5,74 abc	2,35 c	68,35	22,46	9,19
F	1,873	0,921	1,607	1,52	1,443	1,422	18,474			
CV (%)	38,38	31,02	39,48	51,50	54,45	58,37	36,98			
DMS	52,3	9,79	36,18	20,96	17,14	4,18	0,76			

Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

Para a quantificação de AMK e seus metabólitos (DA e N-Me DA) dentro da parte aérea das plantas aos 7 DAA, observou-se que os biótipos 1, 2, 5 e 8 (35,75; 37,15; 37,23 e 40,31, respectivamente) apresentaram maior quantidade de AMK ao serem comparados com os biótipos 7 e 9 (17,29 e 17,45). Em relação ao metabólito DA, os maiores valores foram identificados para os biótipos 1, 2 e 5 (8,61; 9,3 e 9,16) que diferiram significativamente do biótipo 7 (3,5). Enquanto na quantificação do metabólito N-Me DA, os biótipos 1, 2, 7 e 9 (4,48; 3,83; 1,65 e 2,35, respectivamente) apresentaram a maior quantidade em relação ao biótipo 6 (0,77).

Verificou-se que os biótipos 1 e 2 apresentaram altos índices de AMK, DA e N-Me DA (35,75; 8,61; 4,48 e 37,15; 9,3; 3,83, respectivamente), esse fato poderia ser explicado pela maior quantidade de herbicida no teor interno das plantas desses biótipos. No entanto, o biótipo 5 apesar de ter apresentado alto teor de AMK, a alta metabolização ocorreu apenas para o metabólito DA. Enquanto que os biótipos 7 e 9, mesmo com baixos teores de AMK interno, apresentaram alta quantidade do metabólito N-Me DA, juntamente com os biótipos 1 e 2.

Portanto, é possível afirmar que os biótipos possuem capacidades de metabolização diferencial do amicarbazone. Alguns biótipos metabolizaram uma maior quantidade do herbicida no metabólito DA, outros em maior quantidade no N-Me DA ou ambos. Nota-se ainda, que não é possível relacionar a metabolização do herbicida com as reduções de ETR apresentadas pelos biótipos aos 7 DAA.

A quantificação de AMK e seus metabólitos: DA e N-Me DA estão apresentadas na Tabela 5. Com relação à quantidade de AMK não houve diferença estatística entre os biótipos, no entanto, a quantidade dos metabólitos DA e N-Me DA diferiram. Nessa avaliação, os maiores teores de DA foram encontrados nos biótipos 4, 2 e 5 (0,61; 0,54 e 0,50, respectivamente) ao serem comparados com os biótipos 3 e 9 (0,21 e 0,23). Enquanto os biótipos 2 e 1 apresentaram os maiores valores (0,21 e 0,31) para o metabólito N-Me DA, respectivamente.

Para a quantidade de AMK, DA e N-Me DA nos tubérculos (Tabela 5), os biótipos 2 e 5 apresentaram maiores valores para a quantidade de AMK (0,0220 e 0,0292) em relação aos biótipos 7 e 9 (0,0062 e 0,0067). Na quantificação do DA, os biótipos 2, 4, 5 e 6 apresentaram os maiores valores, diferindo significativamente do biótipo 1. Enquanto, para o N-Me DA, os biótipos 2 e 5 apresentaram a maior quantidade em relação ao biótipo 7.

Tabela 5 – Quantificação de Amicarbazone (AMK) e seus metabólitos: desamino-amicarbazone (DA) e N-Methylated des-amino (N-Me DA) na parte aérea das plantas e nos tubérculos, aos 24 dias após a aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone em pós-emergência da planta daninha.

Biótipos	Parte aérea das plantas 24 DAA					
	AMK ($\mu\text{g g}^{-1}$)	DA ($\mu\text{g g}^{-1}$)	N-Me DA ($\mu\text{g g}^{-1}$)	AMK %	DA%	N-Me DA%
B1	0,43 a	0,34 abc	0,21 b	43,69	34,61	21,70
B2	0,39 a	0,54 cd	0,31 c	31,34	43,78	24,88
B3	0,31 a	0,21 a	0,03 a	56,24	38,97	4,80
B4	0,37 a	0,61 d	0,04 a	36,26	59,78	3,96
B5	0,56 a	0,50 bcd	0,04 a	50,79	45,69	3,53
B6	0,44 a	0,26 ab	0,03 a	60,20	35,43	4,36
B7	0,34 a	0,24 ab	0,08 a	51,23	36,91	11,86
B8	0,53 a	0,35 abcd	0,04 a	57,43	38,25	4,32
B9	0,30 a	0,23 a	0,07 a	49,60	37,96	12,44
F	0,497 ns*	1,83	13,556			
CV (%)	71,02	67,97	63,24			
DMS	0,31	0,26	0,06			
Biótipos	Tubérculos 24 DAA					
	Amk ($\mu\text{g g}^{-1}$)	DA ($\mu\text{g g}^{-1}$)	N-Me DA ($\mu\text{g g}^{-1}$)	AMK %	DA%	N-Me DA%
B1	0,0079 ab	0,0075 a	0,0010 ab	48,27	45,57	6,16
B2	0,0220 bc	0,0228 bc	0,0037 bc	45,39	46,95	7,67
B3	0,0088 ab	0,0151 ab	0,0012 ab	35,04	60,28	4,69
B4	0,0150 abc	0,0306 c	0,0031 abc	30,89	62,75	6,37
B5	0,0292 c	0,0326 c	0,0061 c	42,98	48,05	8,96
B6	0,0097 ab	0,0236 bc	0,0021 ab	27,32	66,61	6,07
B7	0,0062 a	0,0116 ab	0,0002 a	34,55	64,17	1,28
B8	0,0095 ab	0,0116 ab	0,0016 ab	22,29	73,91	3,79

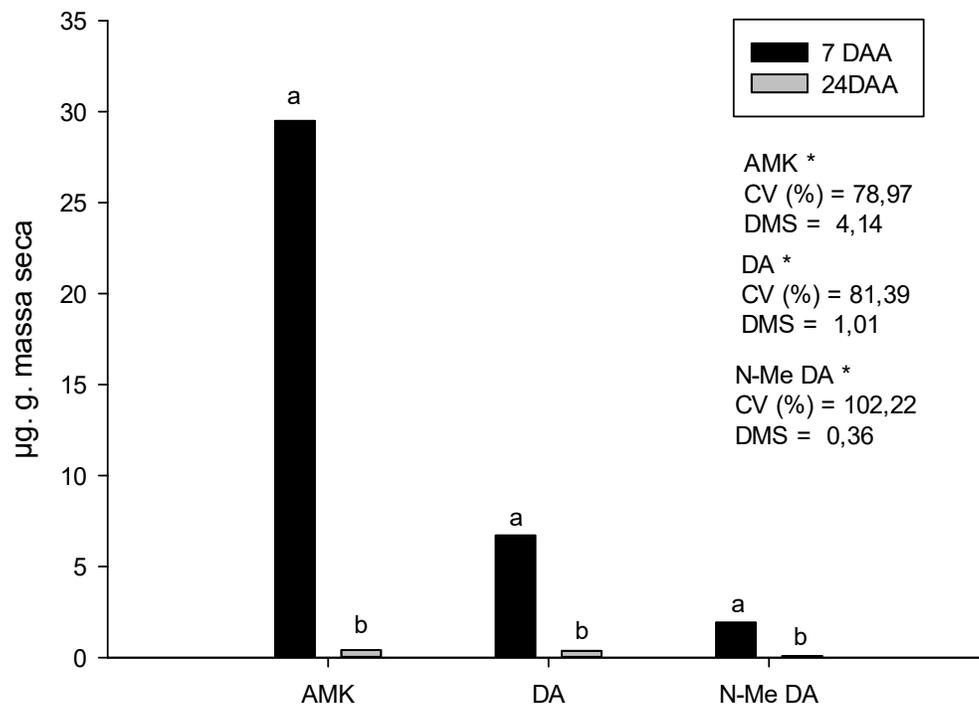
B9	0,0067 a	0,0133 ab	0,0005 ab	32,91	64,8 7	2,21
F	1,633	2,4	2,062			
CV (%)	108,1	66,47	131,36			
DMS	0,01	0,01	0,003			

Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

A comparação da quantidade de AMK, DA e N-Me DA entre os períodos 7 e 24 DAA permite identificar que houve redução dos teores de AMK e seus metabólitos na parte aérea das plantas (Figura 29). Portanto, todos os biótipos de *C. rotundus* (L.), avaliados nesse ensaio, demonstraram que houve metabolização do herbicida para todos os biótipos em níveis diferentes e, aos 24 DAA a quantidade de herbicida e ambos os metabólitos foi significativamente inferior aos 7 DAA.

Ao analisarmos o comportamento dos biótipos em relação à ETR e a quantidade de AMK e seus metabólitos presentes nas partes aéreas das plantas aos 24 DAA, verificou-se que não houve uma relação proporcional entre a metabolização e as reduções da ETR. No entanto, foi possível identificar que nesse período todos os biótipos apresentaram aumento na ETR, o que corrobora com os menores valores de AMK e metabólitos encontrados.

Figura 29 – Média da quantidade de amicarbazone (AMK) e seus metabólitos: desamino-amicarbazone (DA) e N-Methylated des-amino (N-Me DA) de todos os biótipos entre os períodos 7 e 24 dias após a aplicação (DAA)

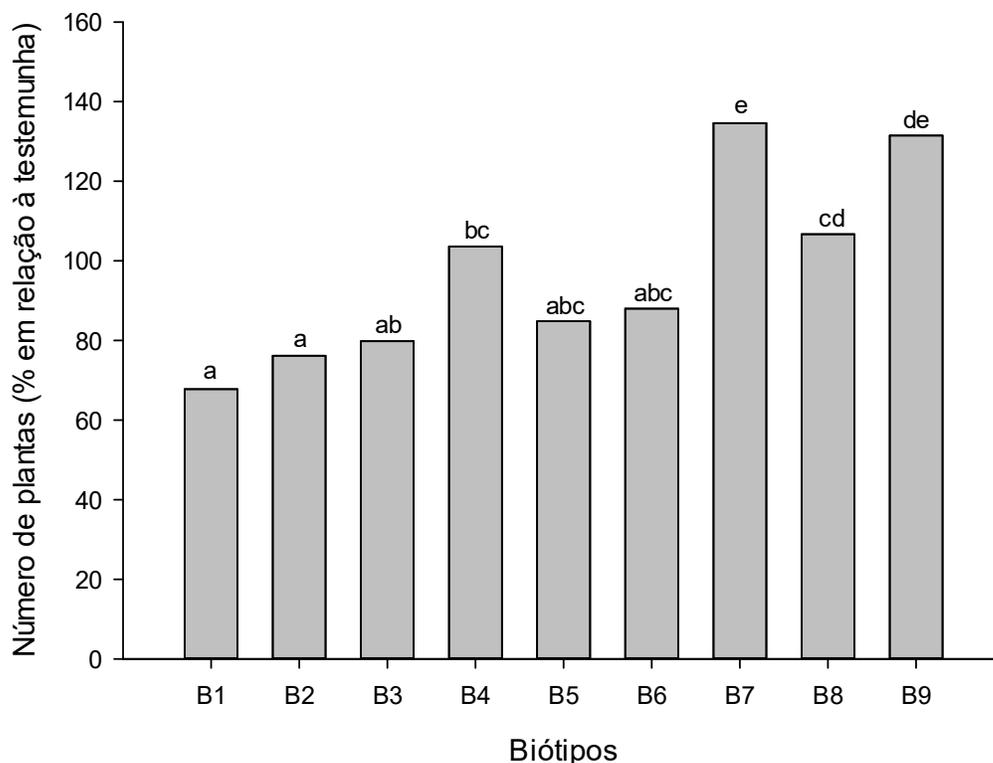


*significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

Verificou-se a redução do número de plantas após a aplicação do herbicida amicarbazone ($1050 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) quando comparados à testemunha, para os biótipos 4, 7 e 9 (Figura 30). Os biótipos 4, 7, 8 e 9 apresentam maior número de plantas ($103,64$; $134,61$; $106,67$ e $131,46$, respectivamente) quando comparados aos biótipos 1 e 2 ($46,71$ e $51,18$).

Como mencionado anteriormente, esse efeito pode ser explicado pela atuação do herbicida na quebra da dominância apical. Após a aplicação das doses do herbicida em pré-emergência nas plantas de tiririca (experimento 2), verificou-se maior número de plantas em relação às testemunhas. No entanto, esse efeito não foi observado para os mesmos biótipos, quando submetidos à aplicação de amicarbazone em pós-emergência.

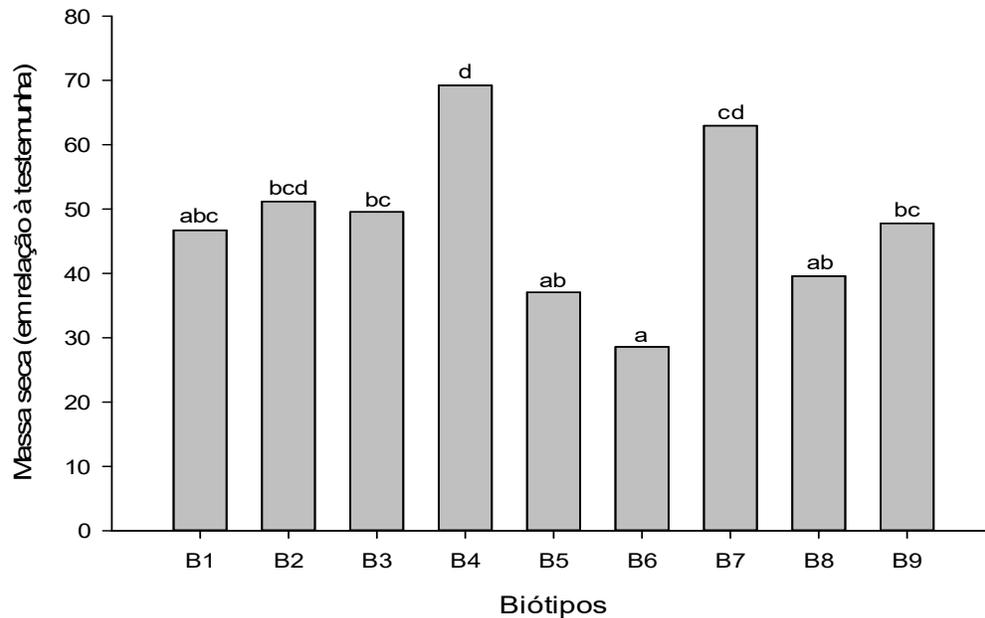
Figura 30 – Porcentagem do número de plantas dos biótipos de *C. rotundus* (L.) após a aplicação da dose de 1050 g. i.a. ha⁻¹ do herbicida amicarbazone.



F = 4,98*, CV (%) = 24,64, DMS = 25,52. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

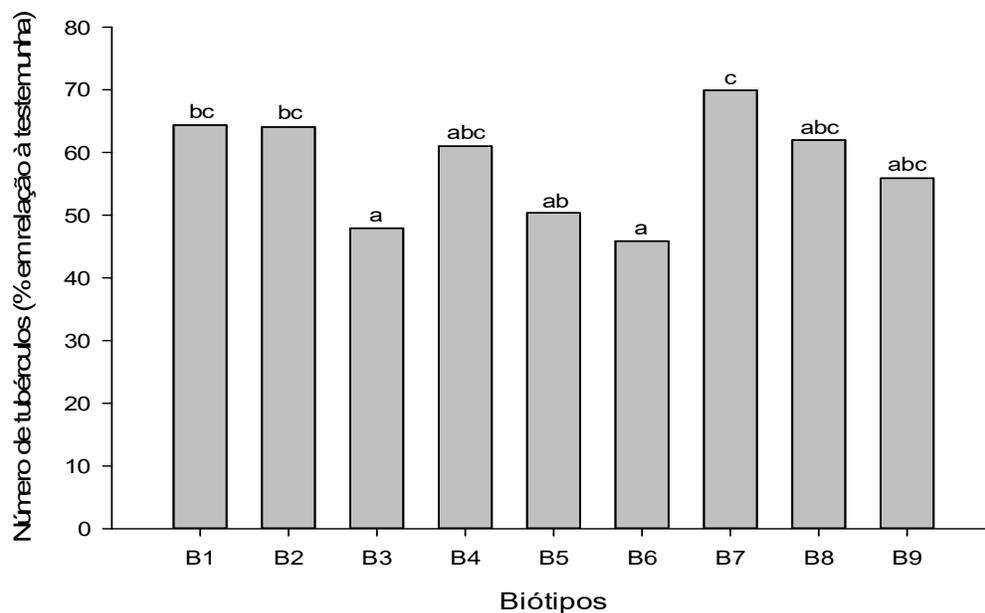
Já para massa seca da parte aérea, número e massa fresca de tubérculos, identificou-se a redução desses parâmetros em relação às testemunhas (Figuras 31, 32 e 33). Como mencionado anteriormente, a aplicação do amicarbazone reduziu a ETR para todos os biótipos e, conseqüentemente, reduziu a atividade fotossintética dessas plantas, o que resultou em uma menor produção massa seca da parte aérea e número e massa dos tubérculos.

Figura 31 – Porcentagem da massa seca da parte aérea dos biótipos de *C. rotundus* (L.) após a aplicação da dose de 1050 g. i.a. ha⁻¹ do herbicida amicarbazone.



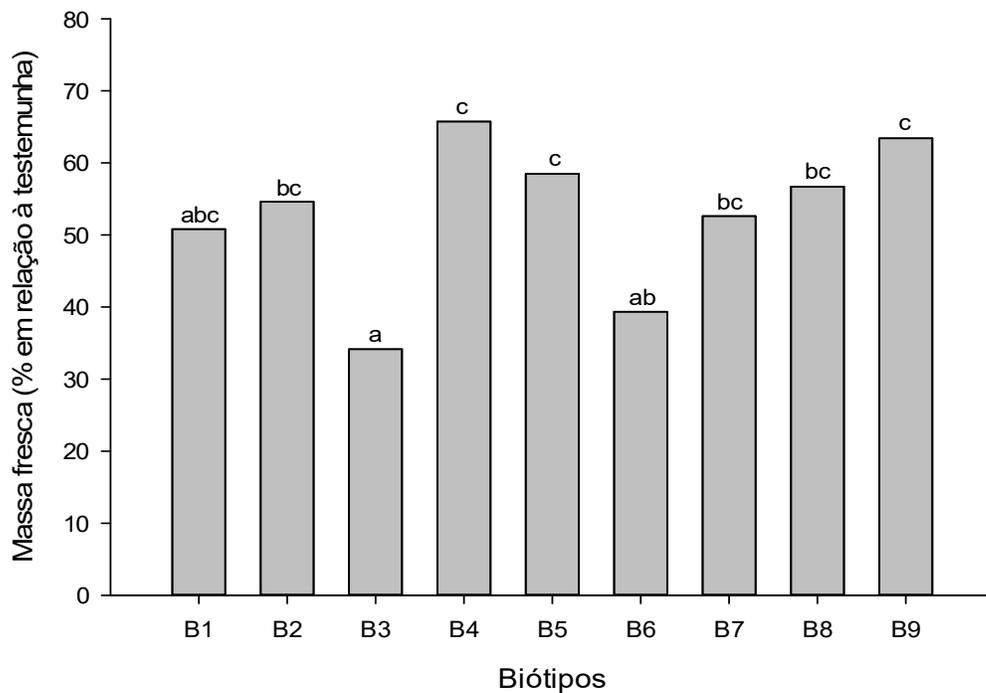
F = 259*, CV (%) = 36,18, DMS = 18,57. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

Figura 32 – Porcentagem do número de tubérculos produzidos pelos biótipos de *C. rotundus* (L.) após a aplicação da dose de 1050 g. i.a. ha⁻¹ do herbicida amicarbazone.



F = 1,52*, CV (%) = 26,12, DMS = 16,16. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

Figura 33 – Porcentagem da massa fresca de tubérculos produzidos pelos biótipos de *C. rotundus* (L.) após a aplicação da dose de 1050 g. i.a. ha⁻¹ do herbicida amicarbazone.



F = 1,88*, CV (%) = 32,06, DMS = 18,10. *significativo a $p \leq 0,10$. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de t ($p \leq 0,10$).

5 CONCLUSÕES

A avaliação da taxa de crescimento entre os biótipos não permite a identificação de um padrão único de crescimento e desenvolvimento entre os biótipos avaliados. Dentre esses biótipos, o 4 apresenta o maior potencial de competitividade, enquanto os biótipos 3, 5, 8 e 9 apresentaram as menores capacidades competitivas.

A quebra da dominância apical foi identificada em todos os biótipos avaliados no ensaio de crescimento. Os biótipos 4, 6 e 8 apresentaram menor influência desse fenômeno.

Todos os biótipos apresentaram reduções de ETR após a aplicação de amicarbazone (1050 g i.a. ha⁻¹) e número de plantas maiores, em algumas avaliações, que as testemunhas, fato ocorrido devido às reservas energéticas dos tubérculos de *C. rotundus* (L.).

Os biótipos apresentam capacidade diferencial para absorção e metabolização do herbicida. As avaliações de deposição, absorção e quantificação do amicarbazone, desamino-amicarbazone e N-Methylated des-amino, aos 7 dias após a aplicação não mostraram relação direta com as avaliações de ETR. A quantidade desses compostos apresenta-se reduzida aos 24 dias após aplicação, isso ocorre em concordância com os aumentos da ETR verificados no mesmo período.

A aplicação de amicarbazone em pós-emergência resultou na redução de massa seca da parte aérea, número e massa fresca de tubérculos produzidos. Entretanto, não há relação direta desses parâmetros com as reduções observadas na ETR.

REFERÊNCIAS

- ADDICOTT, F. T.; LYON, J. L. Physiology of abscisic acid and related substances. *Ann. Rev. Plant Physiology*. v. 20, p. 139-164. 1969.
- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 30. jan. 2020.
- ALBUQUERQUE, J. A. A. *et al.* Ocorrência de plantas daninhas após cultivo de milho na savana amazônica. *Planta Daninha*, v. 30, n. 4, p. 775-782, 2012.
- AL-SNAFI, A. E. A review on *Cyperus rotundus* a potential medicinal plant. *IOSR J. Journal of Pharmacy*. v. 6, p. 32 – 48, 2016.
- ARALDI, R. Avaliação da absorção do Amicarbazone e intoxicação em cana-de-açúcar e plantas daninhas. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- ARALDI, R. *et al.* Efeitos na taxa de transporte de electrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. *Planta Daninha*, v.29, n.3, p.647-653, 2011.
- ARÉVALO, R. A.; BERTONCINI, E. I. Efeito e manejo de *Cyperus rotundus* (tiririca) na agricultura brasileira. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS*, 20., 1995, Florianópolis. Palestra... Florianópolis: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, p. 45 – 66, 1995.
- BACARIN, M.A.; MOSQUIM, P.R., Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas de dois genótipos de feijoeiro. *Ciência Agrotécnica*, v.26, p.705-710, 2002.
- BALOCH, A. H. *et al.* The biology of balochistani weed: *Cyperus rotundus* Linnaeus. A Review. *Pure and Applied Biology*, v.4, n.2, p. 171-180, 2015.
- BELL, R. S. *et al.* Life history studies as related to weed control in the Northeast. v. 1, *Nutgrass*. 1962. 364 p.
- BENDIXEN, L. E., NANDIHALLI, U. B. Worldwide distribution of purple and yellow nutsedge (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*), *Weed Technology*, v. 1, p. 61-65. 1987.
- BOHM, B. A.; TRYON, R. M. Phenolic compounds in ferns. A survey of some ferns for cinnamic acid and benzoic acid derivatives. *Canadian Journal of Botany*. v. 45. p. 585-593. 1967.
- BÒLHAR-NODENKAMPF, H. R.; OQUIST, G. O. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. *In: HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BÒLHAR-NODENKAMPF, H. R.; LEEFOOD, R. C.; LONG, S. P. (Ed.). Photosynthesis and production in a changing environment*. London: Chapman & Hall, p.193-206. 1993.

BRIGGS, G.C.; BROMILOW, R.H.; EVANS, A.A. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley. **Pesticide Science**, v.13, p.495-504, 1982.

BRIGGS, G.G. Factors affecting the uptake of soil-applied chemicals and other organism. *In*: HANCE, R.J. (Ed.) Soils and crop protection chemicals. Croydon: **British Crop Protection Council**, p.35-48. 1984.

BRUHL, J. J. Sedge genera of the World: relationships and a new classification of the Cyperaceae. **Australian Systematic Botany**, v. 8, ed. 2, 25 – 305, 1995.

CATUNDA, M. G. *et al.* Influência do extrato aquoso de *Cyperus rotundus* na germinação de sementes e na divisão celular do meristema radicular de alface. *In*: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 22., Foz do Iguaçu. Resumos, p.78, 2000.

CONSTANTIN, J.; MACIEL, C. D. G. Avaliação da eficiência agronômica e seletividade do herbicida halosulfuron no controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.9, p. 45-64, 1999.

CHACHALIS, D.; REDDY, K. N.; ELMORE, C. D. Herbicide efficacy, leaf structure, and spray droplet contact angle among Ipomoea species and smallflower morningglory. **Weed Science**. v. 49, p. 628–634. 2001.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Controle de *Brachiaria decumbens* Stapf e de *Cyperus rotundus* L. em área de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) através da técnica de rotação com amendoim (*Arachis hypogaea* L.) integrada ao uso de herbicidas. Dissertação (de mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

CUDNEY, D. Nutsedge: history, economy, importance and distribution. *In*: NUTSEDGE Management Workshop. Riverside: University of California, 1997.

DARIO, G. J. A.; DARIO, P. W.; DE VINCENZO, M. C. V. Controle da tiririca (*Cyperus rotundus*) na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *In*: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 20., 1995, Florianópolis. Resumos, p. 198, 1995.

DAYAN, F. E.; ZACCARO, M. L. M. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.102, p.189-197, 2012.

DIAS, M. F. *et al.* Phytosociological survey of weeds in glyphosate resistant and susceptible soybean cultivation areas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.13, n.4, e5592, 2018.

DURIGAN, J. C. Manejo da tiririca (*Cyperus rotundus* L.) antes e durante a implantação da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). 1991. 336 f. Tese (Livre-Docência) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1991.

- DURIGAN, J.C.; TIMOSSI, P.C. e CORREIA, N.M. Densidade e manejo químico da tiririca na produtividade da cana de açúcar. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 463 – 469, 2005.
- DURIGAN, J.C.; TIMOSSI, P.C.; LEITE, G.J. Controle químico da tiririca (*Cyperus rotundus*), com e sem cobertura do solo pela cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v. 22, n. 1, p. 127-135, 2004.
- EDENFELD, M. W. *et al.* Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) control with glyphosate in soybean and cotton. **Weed Technology**, v. 19, p. 947–953, 2005.
- FERREIRA, A. *et al.* Geographical distribution of the weeds seed bank of under diferente managements of sugar cana in Rio Brilhante, MS. **Bioscience Journal**, v.29, p. 1458-1468, 2013.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análise e ensino de estatística. **Revista Symposium**. 106 Universidade Federal de Lavras. v. 6, p. 36-41, 2008.
- FOYER, C.H.; MULLINEAUX, P.M. Causes of Photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants. CRC Press, **Boca Raton, FL.**, 1994.
- FREITAS, R. S. *et al.* Efeitos do flazassulfuron e do glyphosate em aplicações única e seqüencial sobre o controle da tiririca (*Cyperus rotundus*). **Ceres**, v. 44, n. 256, p. 597 - 603, 1997.
- FUERST, E.P.; NORMAN, M. A. Interactions of herbicides with photosynthetic electron transport. **Weed Science.**, v.39, p.458-464, 1991.
- GIROTTO, M. *et al.* Efeito do hexazinone isolado e em mistura na eficiência fotossintética de *Panicum maximum*. **Planta Daninha**, v.30, n.2, p.341-347, 2012.
- GOETGHEBEUR, P. Cyperaceae. In: KUBITZKI, K., HUBER, H., RUDALL, P. J., STEVENS, P. S. & STÜTZEL, T. (Eds.). The Families and Genera of Vascular Plants IV: Flowering plants – monocotyledons. Berlin: Springer-Verlag. p. 141-190, 1998.
- GRONWALD, J.W. Resistance to photosystem II inhibiting herbicides. *In*: POWLES, S.; HOLTUM, J. (Ed.). Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry. **Boca Raton, CRC**, p. 27-60. 1994.
- GUNASEKERA, T. G. L. G.; FERNANDO, D. N. S. Agricultural importance, biology, control and utilization *Cyperus rotundus*. **Planter (Malaysia)**, v. 70, p. 537–544, 1994.
- HAMMERTON, J.L. Experiments with *Cyperus rotundus* L. III. Seasonal variations in growth. **Weed Research**, v.15, p.339- 348, 1975.
- HEAP, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. 2020. Disponível em: <https://weedsociety.org>. Acesso em: 10 mar. 2020.

- HEFLER, S. M.; LONGHI-WAGNER, H. M. Análise da morfologia do fruto em espécies de *Cyperus* L. subg. *Cyperus* – Cyperaceae. **Acta botânica brasileira**, v. 22(3), p. 637-651. 2008.
- HESS, F. D. Herbicide absorption and translocation and their relationship to plant tolerances and susceptibility. Pages 191–214 in S. O. Duke, ed. **Weed Physiology**. Volume II. Herbicide Physiology. Boca Raton, FL: CRC Press. 1985.
- HESS, F. D. Light-dependent herbicides: an overview. **Weed science**, v. 48, n. 2, p. 160-170, 2000.
- HOLM, L. G.; PANCHO, J. V.; HERBERGER, J. P.; PUNCKNETT, D. L. **The world's worst weeds**: distribution and biology. Honolulu: University Press of Hawaii, p. 8-24, 1977.
- JANGAARD, N. O.; SCKERL, M. M.; SCHIEFERSTEIN, R. H. The role of phenolics and abscisic acid in nutsedge tuber dormancy. **Weed Science**., Champaign, v. 19, n. 1, p. 17-20, 1971.
- KALNAY, P. A.; GLENN, S. Translocation of nicosulfuron and dicamba in hemp dogbane (*Apocynum cannabinum*). **Weed Technol**, v.14, p. 476–479. 2000.
- KISSMANN, K. G. Plantas infestantes e nocivas. Tomo 1, BASF Brasileira S.A. São Paulo. 603p. 1991.
- KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Paulo: BASF, 825 p. 1997.
- KRAUSE, G. H.; WINTER, K. Photoinhibition of photosynthesis in plants growing in natural tropical forest gaps: a chlorophyll fluorescence study. **Botanica Acta**, v. 109, p. 456-462, 1996.
- KUVA, M. A. et al. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas no agroecossistema cana-crua. **Planta daninha**, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.
- LIPE, W. N.; CRANE, J. C. Dormancy regulation in peach seeds. **Science**, v. 153, p. 541-542. 1966.
- LORENZI, H. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, 7ª ed, 383p, 2014.
- LORENZI, H. Plantas daninhas do Brasil. 3ª ed. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**. 2001.
- LORENZI, H. Plantas daninhas e seu controle na cultura da cana-de-açúcar. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA, 1983, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Copersucar, 1983. p. 58-73.
- MACIEL, C.D.G. *et al.* Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em cafezal orgânico. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 631-636, 2010.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v.51, p.659-668, 2000.
- MELLO, S. C. M. de; TEIXEIRA, E. A.; NETO, C. R. B. Fungos e seus metabólicos no controle de tiririca. Brasília: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 2003.

- MONQUERO, P.A. Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas. Ed. Rima, São Carlos, p.430, 2014.
- MOURA FILHO, E.R. *et al.* Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em cultivo de banana irrigada. **Holos**. v. 2, p. 92-7. 2015.
- NAGARANJAN, M. *et al.* Abhava pratinidhi dravya A comparative phytochemistry of Ativisha, Musta and related species. **J Ayurveada and Integrative Medicine**. v. 6, p. 53 – 63, 2015.
- NEGRISOLI, E. *et al.* Controle de plantas daninhas pelo amicarbazone aplicado na presença de palha de cana de açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, p. 603-611, 2007.
- NOVO, M. C. S. S. Efeito da palha de cana de açúcar e do tamanho de tubérculos no desenvolvimento da tiririca (*Cyperus rotundus* L.). Piracicaba, 2004. 107p. Tese (Doutorado em Agronomia), ESALQ, Piracicaba, 2004.
- ORSI JR, F. Avaliação da eficiência do herbicida sulfentrazone no controle da tiririca, na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 15, p. 78-84. 1997.
- OSTEN, C. Las Ciperáceas del Uruguay. Anales del Museo de Historia Natural de Montevideo, v. 3, n. 2, p. 109 – 256, 1931.
- PARSONS, W.T.; CUTHBERTSON, E.G. Noxious Weeds of Australia, second edn. CSIRO Publishing, Collingwood, Melbourne, 2001.
- PATTERSON, D.T. Comparative ecophysiology of weeds and crops. *In*: DUKE, S.O., ed. **Weed Physiology**. Boca Raton, Florida: CRC, p. 101-129. 1984.
- PEREIRA, W. Estudos de variabilidade morfo-fisiológica, diversidade genética e susceptibilidade a patógenos de acessos de tiririca de diferentes regiões e suas influências no controle biológico da planta daninha. Brasília: **EMBRAPA-CNPH**, 1998. 135 p.
- PEREZ-JONES, A. *et al.* Molecular analysis of hexazinoneresistant shepherd's-purse (*Capsella bursapastoris*) reveals a novel psbA mutation. **Weed Science**, v.57, n.6, p.574-578, 2009.
- PIRZADA, A. M. *et al.* *Cyperus rotundus* L. Traditional uses, phytochemistry, and pharmacological activities. **Journal of Ethnopharmacology**. v. 174, p. 540 – 560, 2015.
- PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C.; BENDETTI, N.J. Estudos de competição inter e intraespecífica envolvendo *Glycine Max* (L.) Merrill e *Cyperus rotundus* (L.) em condições de casa de vegetação. **Planta Daninha**, v. 2, p. 129-137. 1983.
- POWLES, C.; HOLTUM, J. A. M. Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry. **Boca Raton**: Lewis, 1994, p. 353.
- POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 61, p. 317–347. 2010.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. 2 ed. Piracicaba, Edição dos Autores. 302 p., 2005.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. Londrina - PR, 7° ed, 2018, 764 p.

- ROGERS, H. H. *et al.* Effects of elevated atmospheric CO₂ on invasive plants: Comparison of purple and yellow nutsedge (*Cyperus rotundus* L. and *C. esculentus* L.). **Journal of Environmental Quality**, v. 37, p. 395–400. 2008.
- ROMAN, E. S. *et al.* Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação. Passo Fundo: Berthier, 160 p. 2007.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. Fisiologia vegetal. México: **Iberoamérica**, 758p. 1994.
- SAMRAJ, K., THILLAIVANAN, S., KANAGAVALLI, K. An update on siddha herb korai (*Cyperus rotundus*, L.): a review. **IJP** 4, 233–242. 2014.
- SANYAL, D.; BHOWMIK, P. C.; REDDY, K. D. Influence of leaf surface micromorphology, wax content, and surfactant on primisulfuron droplet spread on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and green foxtail (*Setaria viridis*). **Weed Science**, v. 54, p. 627–633. 2006.
- SATICHIVI, N.M. *et al.* Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, v.48, p.675-679, 2000.
- SHANG, C. M. Occurrence and prevention of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). **Anhui Agricultural Science Bulletin**, v. 12, 79p. 2006.
- SHARMA, R.; GUPTA, R. *Cyperus rotundus* extract inhibits acetylcholinesterase activity from animal and plants as well as inhibits germination and seedling growth in wheat and tomato. **Life Science**, v. 80, p. 2389 – 2392, 2007.
- SILVA, C. A. R. *et al.* Competição entre biótipos de tiririca (*Cyperus rotundus*). In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 22., Foz do Iguaçu. Resumos, p.51, 2000.
- SILVA, J. F. *et al.* Herbicida: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 367p. 2013.
- SUMNER, D. C.; LYON, J. L. Effects of (?)–abscisin II on seed germination in four species of grasses. **Planta**, v. 75, p. 28-32.1967.
- SIMPSON, D. A.; INGLIS, C. A. Cyperaceae of economic, ethnobotanical and horticultural importance: a checklist. **Kew Bulletin**. v. 56, p. 257 - 360, 2001.
- SMITH, E. V.; FICK, G. L. Nutgrass eradication studies: I. Relation of the life history of nutgrass *Cyperus rotundus* L. to possible methods of control. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 29, p. 1007-1013. 1937.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina, 1995. 42 p.
- TAVARES, C.J. *et al.* Fitossociologia de plantas daninhas na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, p. 27-32. 2013.
- TEO, C.K.H., NISHIMOTO, R.K., TANG, C.S. Bud inhibition of *Cyperus rotundus* L. tubers by inhibitor B or abscisic acid and the reversal of these effects by N-6-benzyladenine. **Weed Research**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 173-179, 1974.

- TOLEDO, R.E.B. *et al.* Dinamic (amicarbazone) - novo herbicida seletivo para o controle de plantas daninhas em pré e pós-emergência na cultura da cana-de-açúcar. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS*, 24, 2004, São Pedro. Anais [...] São Pedro: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2004. p.451.
- TOLEDO, R.E.B. *et al.* Biologia e manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar e na sucessão com culturas anuais nas áreas de reforma. *In: Silva, F.C.; Alves, B.J.R.; Freitas, P.L. (ed). Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. 2^a ed. Embrapa, Brasília-DF, 2017.*
- VELINI, E. D. *et al.* Efeito da palha da cana-de-açúcar sobre a germinação das principais espécies de plantas daninhas gramíneas desta cultura. *In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Foz do Iguaçu. Resumos, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas*, p. 15, 200.
- VIDAL, R. A.; MEROTTO, Jr. Herbicidologia. Porto Alegre: Evangraf, 2001. 152p.
- WANAMARTA, G.; Penner, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Science**, v. 4, p. 215–231. 1989.
- WEBSTER, T. M.; GREY, T. L.; FERRELL, J. A. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) tuber production and viability are reduced by imazapic. **Weed Science**, v. 65, p. 97–106, 2016.
- WERLANG, R. C.; SILVA, A. A. Manejo do banco de tubérculos de *Cyperus rotundus* e de plantas daninhas na cana-de-açúcar. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS*. 24, 2004, São Pedro, Anais [...] São Pedro: SBCPD, 2004. CD-ROM.
- WILIAM, R. D. Fisiologia das plantas eficientes (C4) e ineficientes (C3). *In: WARREN, G. F. et al. Curso intensivo de controle de ervas daninhas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. p. 168-179, 1973.*
- WILLS, G.D.; BRISCOE, G.A. Anatomy of purple nutsedge. **Weed Science**. Champaign, v. 18, n. 6, p. 631-635, 1970.
- WILLS, G. D. Description of purple and yellow nutsedge (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*), **Weed Technology**., v. 1, p. 2-9. 1987.
- YOUNG, A. L.; FRANK, H. A. Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.36, p.3-15, 1996.
- YU, J.; P. E. McCULLOUGH; T. GREY. Physiological effects of temperature on turfgrass tolerance to amicarbazone. **Pest Management Science** v. 71, p. 571– 578, 2015.
- YU, J.; McCULLOUGH; P. E.; VENCILL W. K. Absorption, translocation, and metabolism of amicarbazone in annual bluegrass (*Poa annua*), creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*), and tall fescue (*Festuca arundinacea*). **Weed Science**, v. 61, p. 217–221, 2013.