

LUCAS DA SILVA LOPES

**SELETIVIDADE E CONTROLE DE AMICARBAZONE EM PÓS-EMERGÊNCIA NA
CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES CONDIÇÕES
OPERACIONAIS**

Botucatu

2021

LUCAS DA SILVA LOPES

**SELETIVIDADE E CONTROLE DE AMICARBAZONE EM PÓS-EMERGÊNCIA NA
CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES CONDIÇÕES
OPERACIONAIS**

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gilberto Raetano

Botucatu

2021

L864s

Lopes, Lucas da Silva

Seletividade e controle de amicarbazone em pós-emergência na cultura da cana-de-açúcar sob diferentes condições operacionais / Lucas da Silva Lopes. -- Botucatu, 2021
69 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Carlos Gilberto Raetano

1. Herbicidas. 2. Cana-de-açúcar. 3. Ervas daninhas. 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

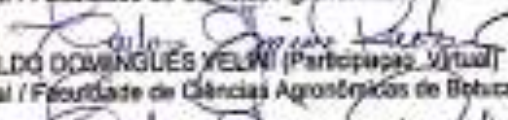
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: SELETIVIDADE E CONTROLE DE AMICARBAZONE EM PÓS-EMERGÊNCIA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS

AUTOR: LUCAS DA SILVA LOPES

ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

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


Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES YELINI (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. PLÍNIO SAULO SIMÕES (Participação Virtual)
Pós-Doutorando - Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP

Botucatu, 28 de julho de 2021

*À minha amada mãe,
Sílvia dos Santos Silva
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e segurança, essenciais na caminhada.

À minha querida mãe Silvania e irmão Flávio, pelo apoio incondicional.

À minha noiva lasmin Calaça, por todo amor, dedicação e companheirismo.

Ao Prof. Dr. Carlos Gilberto Raetano, pela orientação, ensinamentos, paciência, acolhimento e por ser um grande exemplo de amigo, professor e orientador.

Aos familiares que ficaram em Maceió – AL, por toda a torcida e pela compreensão de minha ausência nos momentos bons e ruins, devido à distância.

Aos familiares que dividiram moradia comigo em Botucatu: Caio, Evelyn, Jéssica (Pequi), Marconi e Pedro, pelos bons momentos compartilhados todos os dias.

Aos amigos da pós-graduação do Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas que compõe o grupo PROTEC Bianca, Chicão, Danilo, Flávio, Gustavo, Luciano, Matheus e Raphael, companheiros de jornada que se tornaram uma adorável e divertida família, guardo todos vocês em meu coração, moçada. Tenham certeza!

Aos amigos da graduação do Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas que compõe o grupo PROTEC, André (Bota), Mayumi, Camila, Larissa, Mariana, Henrique (Trupico), Lucas, Robison (Lagoa), Rogério, Victor e Júlia por toda amizade, momentos compartilhados e contribuições neste trabalho.

Aos docentes e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Proteção de Plantas, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, pela oportunidade e formação.

Ao Nivaldo, secretário do Departamento de Proteção Vegetal, por toda atenção e lembretes, bem como as funcionárias da limpeza, por manterem os espaços limpos.

À Agrícola Rio Claro e aos colegas Ailton, Aguinaldo e Junior, por disponibilizarem a área para a realização dos experimentos, além do auxílio na condução dos mesmos.

Às empresas Jacto®, TeeJet® e UPL® pela contribuição com material utilizado durante o experimento.

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

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e, conseqüentemente, para o meu crescimento pessoal e profissional.

Meus sinceros agradecimentos!

“A agricultura é a arte de saber esperar.”

- Riccardo Bacchelli

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se o efeito de pontas de pulverização e taxas de aplicação na seletividade do herbicida amicarbazone aplicado em pós-emergência inicial na cana-soca, variedade RB96-6928, bem como o controle das plantas daninhas da Agrícola Rio Claro, em Lençóis Paulista, SP, com as coordenadas geográficas S22°45'50.4" e O48°46'30". O experimento foi conduzido de 25 de novembro de 2020 a 15 de julho de 2021. Os tratamentos foram constituídos por pontas de jato plano angulado, pontas de jato plano defletor com indução de ar e taxas de aplicação crescentes de 100, 200 e 300 L ha⁻¹ na aplicação do herbicida amicarbazone na dose de 1050 g ha⁻¹. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 5 repetições, sendo as parcelas experimentais constituídas de 7,5 m de largura e 7 metros de comprimento, totalizando 52,5 m². Para a seletividade, foram avaliados os parâmetros: taxa de transporte de elétrons aos 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação e fitotoxicidade, estimativa do índice SPAD e diâmetro do colmo aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação. Foram feitas avaliações visuais de controle nas seguintes espécies de plantas daninhas: *Euphorbia heterophylla*, *Mucuna aterrima*, *Digitaria horizontalis* e *Emilia fosbergii* aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação. Nas condições em que foi desenvolvido o experimento, pode-se concluir que a utilização de diferentes métodos operacionais pode influenciar na seletividade do herbicida amicarbazone para a cana-soca, cultivar RB 966928. A utilização da ponta de jato plano angulado juntamente com a taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹ diminuiu os valores dos atributos diâmetro de colmo, índice SPAD e ETR, e aumentou o parâmetro fitotoxicidade, tendendo a igualar no decorrer do período de condução do experimento. Aplicações do herbicida amicarbazone em pós-emergência inicial com a ponta de pulverização de jato plano defletor com indução de ar (TTI) pode caracterizar uma ferramenta de seletividade à cultura da cana-de-açúcar com 1/2 do menor volume recomendado em bula (200 L ha⁻¹). A aplicação de amicarbazone, resultou em excelente controle das plantas daninhas na cana-soca, independente da ponta de pulverização e volume de calda utilizado.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação; herbicidas; cana-de-açúcar; taxa de aplicação.

ABSTRACT

This work evaluated the effect of spray nozzles and application rates on the selectivity of the herbicide amicarbazone applied in initial post-emergence to ratoon cane, variety RB 966928, as well as the control of weeds from Agrícola Rio Claro, in Lençóis Paulista, SP, with geographic coordinates S22°45'50.4" and W48°46'30". The experiment was conducted from November 25, 2020 to July 15, 2021. The treatments consisted of angled flat fan nozzles, deflector flat jet nozzles with air induction and increasing application rates of 100, 200 and 300 L ha⁻¹ in the application of the herbicide amicarbazone at a dose of 1050 g ha⁻¹. The experimental design was randomized blocks with 5 replications, with the experimental plots consisting of 7,5 m wide and 7 meters long, totaling 52,5 m². For selectivity, the following parameters were evaluated: electron transport rate at 30, 60, 90 and 120 days after application and phytotoxicity, estimate of the SPAD index and stem diameter at 15, 30, 60, 90 and 120 days after application. Visual control evaluations were carried out on the following weed species: *Euphorbia heterophylla*, *Mucuna aterrima*, *Digitaria horizontalis* and *Emilia fosbergii* at 15, 30, 60, 90 and 120 days after application. Under the conditions in which the experiment was developed, it can be concluded that the use of different operating methods can influence the selectivity of the herbicide amicarbazone for ratoon cane, cultivar RB 966928. The use of the angled flat fan nozzles together with the application rate of 100 L ha⁻¹ decreased the values of the attributes stem diameter, SPAD index and ETR, and increased the phytotoxicity parameter, tending to equalize during the conduction period of the experiment. Applications of the herbicide amicarbazone in initial post-emergence with the deflector flat jet nozzles with air induction (TTI) can characterize a sugarcane crop selectivity tool with 1/2 of the smallest volume recommended in the package insert (200 L ha⁻¹). The application of amicarbazone resulted in excellent weed control in ratoon cane, regardless of spray tip and volume of spray solution used.

Keywords: application technology; herbicides; sugarcane; application rate.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	Importância econômica da cana-de-açúcar.....	19
2.2	Variedade RB966928.....	20
2.3	Interferência das plantas daninhas na cana-de-açúcar.....	20
2.4	Controle químico das plantas daninhas.....	22
2.5	Herbicidas inibidores do fotossistema II.....	23
2.6	Seletividade de herbicidas à cana-de-açúcar.....	26
2.7	Tecnologia de aplicação de herbicidas.....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1	Instalação e condução do experimento.....	31
3.2	Delineamento experimental.....	33
3.3	Área e equipamento utilizado para aplicação.....	34
3.4	Monitoramento da Taxa de Transporte de Elétrons.....	35
3.5	Fitotoxicidade.....	35
3.6	Estimativa do índice SPAD.....	36
3.7	Diâmetro do colmo.....	36
3.8	Eficácia de controle.....	37
3.9	Produtividade da cultura.....	38
3.10	Análise dos dados.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	Monitoramento da taxa de transporte de elétrons.....	40
4.2	Fitotoxicidade.....	44
4.3	Estimativa do índice SPAD.....	46
4.4	Diâmetro do colmo.....	50

4.5	Eficácia de controle.....	52
4.6	Produtividade da cultura.....	61
5	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

O Brasil lidera a produção mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e responde por dois terços dessa produção. A cana-de-açúcar é a terceira maior atividade agrícola do país tanto em área produtiva como em valor bruto produzido, atrás apenas das culturas da soja e do milho (VOLTOLINI et al., 2012). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento a produção de cana-de-açúcar na safra 2020/21 foi de 654,8 milhões de toneladas e a área colhida foi de 8,62 milhões de hectares. A região sudeste respondeu por 428,6 milhões de toneladas, tendo São Paulo e Minas Gerais como os principais estados produtores (CONAB, 2021).

Muitos problemas influenciam negativamente o cultivo da cana-de-açúcar, dentre eles, destaca-se a influência imposta pela presença das plantas daninhas, responsável por até 80% das perdas na produção (AZANIA; ROLIM; AZANIA, 2008). A presença de plantas daninhas na área de cultivo pode causar prejuízos diretos e indiretos aos canaviais, sendo responsável pela diminuição da produção através da competição por recursos do meio como água, luz e nutrientes.

Na condição atual de produção da cana-de-açúcar, o método químico é o mais utilizado no controle das plantas daninhas em razão das extensas áreas cultivadas, escassez de mão-de-obra, facilidade de aplicação, além de ser um método econômico e de alto rendimento em comparação aos demais métodos de controle (ROSSI, 2004). Entretanto, quando manejadas com produtos inadequados, as cultivares de cana-de-açúcar podem se intoxicar com conseqüente prejuízo em seu desenvolvimento. Para o correto manuseio dos herbicidas é necessário o conhecimento de suas indicações técnicas como espectro de plantas abrangidas e passíveis de controle e a seletividade à cana-de-açúcar (ZERA, 2010).

A seletividade de herbicidas é a base para o sucesso do controle químico das plantas daninhas na produção agrícola, sendo considerada uma medida da resposta diferencial de diversas espécies de plantas a um determinado herbicida. O herbicida a ser utilizado deve ser, de preferência seletivo para a cultura, não provocando injúrias nas plantas de cana-de-açúcar, visto que inúmeras condições de uso podem causar efeitos fitotóxicos distintos. Por essa razão, é fundamental a avaliação, em condições de campo, da influência dos principais herbicidas sobre o desempenho da cultura de cana-de-açúcar, independentemente da sua eficiência no controle de plantas daninhas (MONQUERO et al., 2011).

Dentre os herbicidas que possuem registro para a cultura da cana-de-açúcar, com potencial de uso em cana crua, o amicarbazone é registrado no Brasil para o controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018), em pré e pós-emergência (DAYAN; TRINDADE; VELINI, 2009). Pertencente ao grupo químico das triazolinonas, seu mecanismo de ação é a inibição do fotossistema II, apresentando como principais sintomas nas plantas sensíveis, clorose, redução no crescimento e necrose foliar. O grupo de herbicidas inibidores do fotossistema II, atualmente é um dos mais utilizados mundialmente para o controle de plantas daninhas.

Apesar de haver muitos produtos com eficácia comprovada no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, a tecnologia de aplicação desempenha um fator fundamental na utilização desses produtos, tendo surgido ferramentas que auxiliam no processo de aplicação. Nas modalidades mais utilizadas de aplicação em cana-de-açúcar, que corresponde a pré-emergência ou pós-emergência inicial da cultura e das plantas daninhas, os herbicidas mais utilizados apresentam alta mobilidade na planta (sistêmicos), como o amicarbazone, por isso, recomenda-se utilizar pontas de pulverização que produzam um espectro de gotas médias a extremamente grossas, diminuindo o risco de deriva do produto.

Outro fator de grande importância da tecnologia de aplicação é a taxa de aplicação. Há uma tendência em reduzir as taxas de aplicação, pelo uso de moléculas com grande capacidade de translocação na planta e, também, pela evolução na tecnologia das pontas de pulverização, visando o incremento na eficiência operacional das pulverizações, assim como a diminuição no uso de água e redução dos custos de aplicação (BOLLER; MARCHRY, 2007). Por outro lado, há poucos estudos avaliando a influência da redução da taxa de aplicação na seletividade do amicarbazone em cana-de-açúcar. Diante disso, foi estabelecida a hipótese de que a variação na taxa de aplicação, bem como das pontas de pulverização influenciam na seletividade e no controle das plantas daninhas presentes no canavial.

Portanto, essa pesquisa tem por objetivo avaliar o efeito de diferentes pontas de pulverização e taxas de aplicação na seletividade do herbicida amicarbazone aplicado em pós-emergência na cana-soca, variedade RB96-6928, bem como o controle das plantas daninhas presentes na área de cultivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica da cana-de-açúcar

O Brasil, na condição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, projeta para o segmento crescente relevância para o agronegócio brasileiro. O aumento da demanda mundial por etanol, aliado às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar, tornam o Brasil um participante no comércio mundial com elevada competitividade (CONAB, 2021).

A principal importância econômica da cana-de-açúcar é a sua capacidade de armazenar concentrações significativas de sacarose, a qual está vinculada a três importantes agroindústrias: açúcar, álcool e aguardente (OMETTO, 2000). Dentro da matriz energética adotada no Brasil, o álcool etílico carburante se destaca pela economia em importação de petróleo, no uso do bagaço para cogeração de energia elétrica, a vinhaça e a torta de filtro pela substituição de insumos químicos na lavoura (ALBUQUERQUE, 2005).

De acordo com o levantamento da safra 2020/2021 da Companhia Nacional de Abastecimento (2021), o total de cana-de-açúcar destinada à produção de etanol (anidro e hidratado) foi de cerca de 418,1 milhões de toneladas. Para o açúcar, o total de cana-de-açúcar destinada para sua produção foi de cerca de 300 milhões de toneladas, o que demonstra mais importância da produção do etanol, mantendo o Brasil em posição de destaque neste seguimento.

A produção de etanol é concentrada nas regiões do centro sul e nordeste do Brasil, sendo que mais de 80% está no centro sul. A cadeia produtiva da cana-de-açúcar, totalizando mais de 350 unidades industriais, abrange cerca de 11.000 produtores independentes, caracterizando a importância na geração de empregos diretos no meio agrícola, além de movimentar os setores de insumos, indústria de máquinas e equipamentos, subprodutos e derivados (RODRIGUES; SERATTO, 2012).

Além do açúcar e do etanol, principais produtos comercializados pelos produtores de cana, outros subprodutos da indústria canavieira são amplamente explorados. A vinhaça proveniente da produção de etanol é utilizada como adubação através da fertirrigação, devido ao seu alto valor fertilizante e ausência de metais pesados em sua constituição (ZOLIN et al., 2011), aliada a torta de filtro, subproduto proveniente do processamento industrial da cana, com cerca de 70% de umidade, garante uma

melhor brotação e sua decomposição gera calor que pode auxiliar a brotação da cana no inverno (SANTIAGO; ROSSETTO, 2009).

O bagaço também possui importantes funções, servindo como combustível para as caldeiras, assim como alimento para o gado. Atualmente, a biomassa de cana é a principal fonte bioenergética do país, estratégica na diversificação da matriz energética e na redução do uso de combustíveis fósseis (CNBIO, 2015). Com o advento da colheita mecanizada, a própria palha assumiu papel muito importante ao longo dos anos, servindo como cobertura do solo, auxiliando no combate as plantas daninhas e melhorando as características físico-químicas do solo (CORREIA; REZENDE, 2002).

2.2 Variedade RB 96-6928

A variedade RB96-6928 foi a mais cultivada nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, de acordo com o censo varietal realizado pelo PMGCA/UFSCar (2021), ocupando 16,5% da área plantada nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul.

Destaca-se pela adaptabilidade à mecanização, alta produtividade agrícola, rápido crescimento, bom fechamento entre linhas e tolerância a doenças comuns para a cana-de-açúcar, como carvão, ferrugem-marrom e mosaico. Possui excelente brotação em cana-planta e em soqueiras, alto perfilhamento, maturação precoce/média (RIDESA, 2010).

Em estudo avaliando a seletividade de herbicidas à cana-de-açúcar pré-brotada, Silva et al. (2020) observaram que o herbicida amicarbazone aplicado em pré-emergência foi seletivo à variedade RB-966928. Outros estudos avaliando a intoxicação da cultivar RB96-6928 pelo amicarbazone apresentaram resultados semelhantes, onde o herbicida não prejudicou os parâmetros avaliados pelos autores (ROCHA NETO et al., 2015; AZANIA et al., 2016).

2.3 Interferência das plantas daninhas na cana-de-açúcar

O controle de plantas daninhas é de fundamental importância para que a cultura possa expressar todo seu potencial produtivo, porém, seu impacto na produção, quando comparado ao ataque de pragas e doenças, talvez seja o mais difícil de ser percebido pelo produtor, pois somente pela percepção visual da interferência o prejuízo já está estabelecido (CAVENAGHI; CARBONARI, 2019).

A cana-de-açúcar apesar de ser uma cultura altamente eficiente na utilização de recursos disponíveis para o seu crescimento e desenvolvimento, é afetada,

principalmente nas fases iniciais de crescimento, pela presença de plantas daninhas, que em muitos casos utilizam os mesmos recursos, de forma eficiente, por apresentarem mesma rota metabólica de fixação de carbono (C4) e que têm a capacidade de interferir no desenvolvimento e na produtividade da cultura, com reduções na quantidade e qualidade do produto colhido, diminuição do número de cortes viáveis e aumento dos custos de produção, além da dificuldade na colheita e transporte da cana-de-açúcar (PROCÓPIO et al., 2003), competição direta por fatores limitados do meio em que convivem ou liberando aleloquímicos, ou indiretamente, sendo hospedeiras de pragas, doenças e nematoides (PITELLI, 1985).

O grau de interferência das plantas daninhas na cultura pode ser definido como a redução percentual da produção econômica provocada pela convivência com a comunidade infestante, e esta depende de diversos fatores que podem estar relacionados à comunidade infestante, como a composição específica, densidade e distribuição; à própria cultura, como o gênero, espécie ou cultivar, espaçamento entre sulcos e densidade de semeadura; à época e à duração do período de convivência que pode ser variável de acordo com as condições edáficas e climáticas e pelos tratos culturais adotados na cultura (KUVA et al., 2001).

Segundo Pitelli e Durigan (1984), os períodos de interferência das plantas daninhas são classificados em três: numa linha do tempo iniciada a partir da semeadura, emergência ou brotação da cultura, há um período em que essa consegue dividir o mesmo espaço com as plantas daninhas sem que haja queda em sua produtividade ou qualquer alteração significativamente negativa. A esse período é dado o nome de Período Anterior à Interferência (PAI).

Após o estabelecimento da cultura na área, a mesma atingirá um grau de independência da interferência humana sobre as plantas daninhas, pois a partir daí, a própria cultura será capaz de realizar o controle através do sombreamento, mecanismos evoluídos de absorção dos nutrientes, entre outros fatores. A esse período é dado o nome de Período Total de Prevenção à Interferência (PTPI).

O período que corresponde ao fim do PAI e o início do PTPI é denominado Período Crítico de Prevenção à Interferência (PCPI). Durante esse período, é imprescindível que haja o controle das plantas daninhas através de algum método de manejo, visando minimizar os prejuízos, pois é nesse período que as plantas daninhas podem causar danos significativos ao desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, à produtividade. Para Pitelli (1985), o conhecimento a respeito do PCPI visa o controle

da comunidade infestante, antes que a interferência se instale de maneira definitiva, até o momento em que as plantas daninhas que vierem a emergir posteriormente não mais interfiram na produtividade da cultura.

Victoria Filho e Christoffoleti (2004) fizeram um levantamento para a cultura da cana-de-açúcar, onde apontaram os períodos de interferência das plantas daninhas na cultura em valores médios de acordo com fatores relatados em seus estudos. Em cana-planta de ano, o PAI correspondeu a um período em torno de 30 DAB, o PTPI correspondeu a um período em torno de 120 DAB e o PCPI de 30 a 120 DAB. Em cana-planta de ano e meio, o PAI equivaleu a 30 dias, o PTPI em torno de 150 dias e o PCPI entre 30 a 150 dias.

Meirelles, Alves e Nepomuceno (2009) determinaram o período de convivência da cana-soca com plantas daninhas. Concluíram que, admitindo como aceitável uma perda máxima de 5% na produção de colmos da cana-soca, constatou-se que a cultura pôde conviver com a comunidade infestante até 18 DAB, sendo estabelecido o PAI. Para esse mesmo nível de tolerância, foi determinado que é necessário controlar as plantas daninhas até 137 DAB, sendo estabelecido o PTPI. O PCPI para cana-soca, foi de 18 a 137 DAB.

Pelo fato de o plantio da cana-de-açúcar no Brasil ocorrer em períodos bem distintos, dependendo da região, também serão distintas as condições climáticas ocorrentes neste período, tendo como consequência as espécies daninhas predominantes e o período de interferência com a cultura (VICTORIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004).

2.4 Controle químico das plantas daninhas

Práticas de manejo de plantas daninhas comuns aos produtores, como métodos mecânicos, culturais e químicos, podem minimizar os efeitos negativos proporcionados pela presença das plantas nas áreas de cultivo. De acordo com Rossi (2004), o método químico é o mais utilizado no Brasil, na atual condição de produção da cana-de-açúcar, devido a diversos fatores, como extensas áreas cultivadas, escassez de mão-de-obra, facilidade de aplicação, custo e eficácia do tratamento, além de ser um método econômico e de alto rendimento em comparação com os demais métodos de controle.

O controle químico de plantas daninhas visa a obtenção de máxima eficácia de controle com alta seletividade para a cultura, de forma econômica e com a

minimização dos efeitos ambientais. A escolha por um herbicida deve levar em consideração aspectos técnicos e econômicos, tais como eficiência, seletividade para a cultura, efeito residual, janela de aplicação, espectro de controle e custo. Ainda deve ser analisada a modalidade de cultivo: cana planta, cana planta de ano e meio e cana soca; a época de aplicação (úmida ou seca) e as características climáticas e do solo (CHRISTOFFOLETI et al., 2005).

Os herbicidas atualmente em uso na cultura da cana-de-açúcar apresentam variações específicas de eficácia de controle das plantas daninhas em função do grau de seletividade para a cultura, da dose, época de aplicação, estágio fenológico e condições fisiológicas e bioquímicas da cultura e das plantas daninhas. Os produtos disponíveis no mercado variam em suas características físico-químicas, que interagem com os aspectos climáticos, edáficos e culturais dos sistemas de produção (CHRISTOFFOLETI et al., 2005).

Para controlar as plantas daninhas e evitar os possíveis prejuízos à cultura da cana-de-açúcar, muitos herbicidas com diferentes ingredientes ativos e formulações estão registrados para uso no Brasil (ARALDI et al., 2011). Dentre os herbicidas utilizados em cana-de-açúcar, destacam-se os de aplicação em pré-emergência e pós-emergência inicial. Herbicidas inibidores da ALS e do fotossistema II são muito utilizados, em razão da seletividade para a cultura, alta eficiência em baixas doses e baixa toxicidade para animais (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

2.5 Herbicidas inibidores do fotossistema II

O grupo de herbicidas inibidores do fotossistema II, atualmente é um dos mais utilizados no mundo para o controle de plantas daninhas. A inibição da fotossíntese acontece pela interrupção do fluxo de elétrons devido a ligação dos herbicidas deste grupo ao sítio de ligação da plastoquinona Q_B , na proteína D1 do fotossistema II, a qual se localiza nos cloroplastos (precisamente nas membranas dos tilacoides), causando, por consequência, o bloqueio do transporte de elétrons da plastoquinona Q_A para Q_B . Isto interrompe a fixação de CO_2 e a produção de ATP e $NADPH_2$, os quais são elementos essenciais para o crescimento das plantas (GIROTTO et al., 2012; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2021). Segundo Franconere (2010), em torno de 46% dos herbicidas utilizados em áreas de produção de cana-de-açúcar pertenciam ao grupo dos inibidores do fotossistema II.

A absorção dos herbicidas deste grupo ocorre tanto via radicular, quanto via foliar. Já a translocação ocorre apenas via xilema. Possuem amplo espectro de controle, podendo ser aplicados em plantas daninhas mono e dicotiledôneas. Apesar de serem herbicidas de ação sistêmica, recomenda-se uma cobertura completa do alvo pois possuem mobilidade limitada, quando aplicados em pós-emergência, sendo necessária a utilização de adjuvantes. Não apresentam problemas com deriva por volatilização, devido à baixa pressão de vapor. Controlam muitas espécies de folhas largas e algumas gramíneas (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2021).

A taxa fotossintética das plantas tratadas com os herbicidas inibidores do FSII declina em poucas horas após o tratamento. A interrupção do fluxo de elétrons entre os FS II e I resulta na redução da produção de energia e, conseqüentemente, de carboidratos, açúcares e outros compostos que necessitam de energia para serem produzidos, o que leva a planta à morte (CORTEVA, 2018).

Um outro ponto a ser explorado é o sintoma de clorose comumente observado após o uso de herbicidas inibidores do FSII, causado pela peroxidação de lipídeos. O processo de peroxidação ocorre devido ao estado *triplet*, que é um excesso de clorofila gerado pela interrupção do fluxo de elétrons no FSII, o que sobrecarrega o efeito de atenuação de energia promovida pelos pigmentos carotenoides (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2021).

Segundo Dan Hess (1994), há dois mecanismos que iniciam o processo de peroxidação através do excesso de clorofila (estado *triplet*): 1 – a formação direta de radicais lipídicos nos ácidos graxos insaturados constituintes das membranas, 2 – a reação com o oxigênio proveniente da dissociação da molécula da água, produzindo o oxigênio *singlet*. Diante disso, esse oxigênio pode então reagir com os radicais livres dando início ao processo de peroxidação, o que resulta em danos às membranas. A peroxidação dos lipídeos é autocatalítica e espalha-se para outros lipídeos constituintes de membranas, como as do cloroplasto e de outras estruturas celulares. Estas reações acabam por promover a destruição das membranas e a perda de clorofila (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2021).

Três grupos de herbicidas são inseridos neste mecanismo de ação, o grupo das triazinas, triazinonas, triazolinonas e uracilas (C1), o grupo das ureias substituídas (C2) e o das benzotiadiazinonas e nitrilas (C3). Somados, todos os herbicidas registrados para este mecanismo de ação, são mais de 50 princípios ativos (HEAP, 2018).

Dos herbicidas registrados para cana-de-açúcar, o amicarbazone é um dos mais importantes para o controle das plantas daninhas (TOLEDO et al., 2004). O amicarbazone pertence ao grupo químico das triazolinonas e possui o nome químico 4-amino-N-tert-butyl-4,5-dihydro-3-isopropyl-5-oxo-1H-1,2,4-triazole-1-carboxamide. Com nome comercial Dinamic®, na concentração de 700 g de ingrediente ativo, na formulação de grânulos dispersíveis em água (WG) e classe toxicológica II (altamente tóxico), com faixa amarela no rótulo da embalagem (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

O herbicida amicarbazone como inibidor da fotossíntese se liga à proteína D1, não permitindo a transferência de elétrons entre as Q_A e Q_B no fotossistema II. Uma vez ligado à proteína e estando a planta submetida a elevadas taxas de radiação fotossinteticamente ativa, ocorre a formação de radicais livres, os quais promovem a peroxidação de membranas (YAMAMOTO, 2001). Por conseguinte, há redução na geração de energia, resultando em aumento da emissão de fluorescência pelo aparato fotossintético (ARALDI, 2010).

Para que ocorra o efetivo controle das plantas daninhas com a aplicação de herbicidas, é preciso que o herbicida aplicado, além de ser absorvido, translocado e redistribuído pelas plantas, chegue até o sítio de ação em quantidade suficiente para ser fitotóxico, e uma vez presente na célula interfira nos processos vitais específicos da planta. Como o amicarbazone é um herbicida inibidor da fotossíntese, torna-se necessário que ele alcance os cloroplastos das células das folhas para atuar em seu sítio de ligação no fotossistema II (ARALDI et al., 2011).

O amicarbazone é recomendado nas aplicações em pré e pós-emergência inicial para controle de plantas daninhas gramíneas e dicotiledôneas que competem com a cultura da cana-de-açúcar. Quando aplicado em pré-emergência, possui absorção radicular e se transloca via xilema, pelo fluxo de transpiração. Porém, quando aplicado em pós-emergência, predomina a absorção foliar, sendo sua ação de contato (TOLEDO et al., 2004).

Na aplicação em pós-emergência inicial, ocorre a rápida necrose das folhas devido à destruição das membranas celulares. Os sintomas manifestam-se inicialmente nas bordas das folhas e progridem por todo o tecido foliar, com a morte das plantas daninhas (ARALDI, 2010). A morte das plantas, entretanto, pode ocorrer devido a outros processos, como a peroxidação de lipídeos e proteínas, promovendo a destruição das membranas e perda de clorofila (TOLEDO et al., 2004).

A seletividade do amicarbazone para a cana-de-açúcar se dá pela metabolização do herbicida pelas plantas e pelo posicionamento no solo, relacionado à absorção (TOLEDO et al., 2004). A sua degradação é microbiana, com meia vida de 3 a 6 meses, sendo influenciada por diversos fatores, como condições de solo e clima, dose utilizada, tipo e textura do solo, teor de matéria orgânica presente e quantidade de chuva (CARBONARI et al., 2009).

2.6 Seletividade de herbicidas à cana-de-açúcar

O controle químico obedece ao princípio de que certos produtos químicos, no caso das plantas daninhas, os herbicidas, são capazes de matar plantas, e mais importante, que muitos deles podem matar apenas alguns tipos de plantas, sem injuriar os outros (LORENZI, 2014). Diante disso, entende-se por seletividade a capacidade de determinado herbicida eliminar as plantas daninhas de uma área, sem que a cultura tenha seu desenvolvimento significativamente afetado (NEGRISOLI et al., 2004). Para o sucesso na execução do controle químico de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, a seletividade dos herbicidas é um fator determinante e de grande importância para maximizar a produtividade da cultura.

Segundo Araldi et al. (2011), cada cultivar pode responder de maneira diferente ao mesmo herbicida na mesma dose, tendo como consequências frequentes problemas de fitotoxicidade, chegando a ocasionar redução na produtividade do canavial para os cultivares mais sensíveis. Essa intoxicação, dependendo do genótipo e das características do herbicida utilizado, além de afetar a fotossíntese em sua fase inicial (transporte de elétrons no fotossistema II), pode alterar a produtividade e a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar (VELINI et al., 2000).

Rolim e Christoffoleti (1982) relataram que as cultivares de cana-de-açúcar podem ter características morfológicas e fisiológicas distintas, sendo provável que ocorram alterações quanto à tolerância a herbicidas específicos. Ferreira et al. (2005), ao trabalharem com 15 genótipos de cana-de-açúcar, verificaram que os cultivares apresentaram sensibilidade diferencial à mistura de ametryn + trifloxysulfuron-sodium, o cultivar RB85 5113 demonstrou alta sensibilidade, os cultivares SP80-1842, SP79-1011 e RB95 7689 apresentaram média sensibilidade à mistura dos herbicidas, enquanto que o cultivar RB86 7515 apresentou baixa sensibilidade.

A seletividade não pode ser determinada apenas pela simples verificação de sintomas visuais de intoxicação, pois há herbicidas que podem reduzir a produtividade

das culturas sem produzir-lhes efeitos visualmente detectáveis; além disso, existem herbicidas que provocam injúrias bastante acentuadas, mas que lhes permitem manifestar plenamente seus potenciais produtivos (NEGRISOLI et al., 2004). É preciso avaliar também os efeitos imperceptíveis sobre o desenvolvimento e, principalmente, sobre a produtividade da cultura (VELINI et al., 2000), assim como alterações fisiológicas que impactam diretamente na eficiência fotossintética como, a quantidade total de clorofila e padrões de emissão de fluorescência (Fv/Fm) (BAKER, 2008).

Souza et al. (2009), ao avaliar a tolerância de variedades de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência, verificou que aos 60 DAA houve recuperação satisfatória da cultura dado pela ausência das injúrias causadas pelos herbicidas. Essa recuperação da cultura pode estar relacionada com a mobilidade dos herbicidas no solo com posterior distribuição dos mesmos pelo perfil, em função das chuvas, ou que durante o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar, possivelmente, tiveram tempo hábil para o metabolismo das plantas destoxificar as moléculas dos herbicidas, conseqüentemente refletindo na diminuição dos sintomas de intoxicação.

Fatores relacionados à planta, como morfologia e fisiologia, podem determinar a seletividade a herbicidas (REIS et al., 2021). O estágio da planta no momento da aplicação influencia na seletividade, o que nesse caso agrava ainda mais o efeito de toxidez causado pelo produto. Obara et al. (2015) constataram que a seletividade da associação imazapic e imazapyr pôde ser observada para a cultura da cana-de-açúcar cultivar CTC 14, nas aplicações em pré-emergência e pós-emergência inicial da dose 80,25 + 26,25 g ha⁻¹ (imazapic + imazapyr). Já a modalidade de aplicação em pós-emergência tardia se mostrou totalmente inviável para qualquer uso do herbicida imazapic mais imazapyr nas doses e condições em teste.

Os herbicidas utilizados para a cultura da cana-de-açúcar são, em sua maioria, seletivos, devido a aspectos de absorção foliar e à degradação do herbicida absorvido pela planta cultivada, com controle das plantas daninhas sem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura (AZANIA; ROLIM; AZANIA, 2008). Cataneo e Carvalho (2008) afirmam que os herbicidas podem apresentar seletividade às culturas devido à rapidez de metabolização, por outro lado, nas plantas daninhas essas reações acontecem mais lentamente.

Assim, o herbicida a ser empregado deve ser preferencialmente seletivo para a cultura, não provocando injúrias nas plantas de cana-de-açúcar, visto que inúmeras condições de uso podem causar distintos efeitos fitotóxicos. Por essa razão, é fundamental a avaliação, em condições de campo, da influência dos herbicidas sobre o desempenho da cultura da cana-de-açúcar, independente da sua eficiência no controle de plantas daninhas (MONQUERO et al., 2011).

2.7 Tecnologia de aplicação de herbicidas

A aplicação de produtos fitossanitários se faz presente em todas as culturas e é essencial para manter o cultivo viável e com produtividades rentáveis. Nesse contexto, a tecnologia de aplicação é de fundamental importância; ponto chave para se aplicar corretamente os produtos fitossanitários. Tecnologia de aplicação é definida como o conjunto de conhecimentos científicos visando a colocação de um produto biologicamente ativo no alvo, quando necessário, de forma econômica, em quantidade suficiente e com o mínimo de contaminação do ambiente (MATUO, 1990).

As pontas de pulverização representam um dos componentes mais importantes tanto na pulverização terrestre como aérea (NEGRISOLI et al., 2017). Existe um modelo de ponta para cada situação específica no campo, dependendo do alvo a ser atingido e necessidade de cobertura na área, sendo considerados também o tamanho e densidade das gotas, assim como a classe de uso e o modo de ação do produto fitossanitário, perdas por deriva e o volume de calda (BOLLER; RAETANO, 2011).

A seleção das pontas deve atender aos critérios específicos de cada produto, pois este componente interfere diretamente na quantidade e na qualidade da pulverização, influenciando em fatores como o volume de calda aplicado, assim como o tamanho e distribuição das gotas, deriva do produto, e a cobertura do alvo. Outro critério importante no momento da aplicação é observar as condições meteorológicas e as características do alvo a ser tratado (RAETANO; MOTA, 2019).

Dos últimos lançamentos disponíveis no mercado destacam-se as pontas de jato plano angulado. Dentre elas, a ponta 3D foi desenvolvida para aplicação de herbicidas em pré e/ou pós-emergência, além de fungicidas, garantindo melhor cobertura de alvos verticais como gramíneas, maior penetração das gotas no dossel das culturas e potencial redução de deriva (RAETANO; MOTA, 2019).

A ponta 3D apresenta jatos com ângulo de abertura de 100° e recebe essa denominação devido a uma inclinação de 37,5° com relação à vertical e deve ser

instalada na barra alternando a direção do jato, de forma a posicionar um para frente e outro para trás no sentido do deslocamento do conjunto trator-pulverizador ao longo da barra de pulverização, configurando um sistema denominado “3D” (PENTAIR, 2018). Trata-se de uma ponta que pode trabalhar em ampla faixa de pressão, com variação de 0,7 a 6,0 bar. Entretanto, a recomendação de uso para otimização do desempenho dessa ponta é operar com pressões entre 2 e 3 bar e, no geral, produzindo gotas médias (PENTAIR, 2018).

Pontas com a tecnologia de indução de ar são comercializadas no Brasil há mais de duas décadas. O objetivo inicial era utilizá-las no setor florestal, com o intuito de reduzir problemas decorrentes da deriva de herbicidas. O líquido ao entrar na ponta, desloca-se em maior velocidade pelo estreitamento na sua passagem, criando uma pressão negativa naquele local com a sucção do ar pelos orifícios laterais. O ar é introduzido nas gotas, formando bolhas de ar. Atualmente, as pontas de jato plano com indução de possuem entradas de ar paralelas à saída do líquido. Essas pontas operam na faixa de pressão de 3 a 8 bar gerando gotas grossas, muito grossas ou extremamente grossas, reduzindo o potencial risco de deriva (RAETANO; MOTA, 2019).

A ponta de pulverização de jato plano da série TTI é originada da ponta TT (Turbo TeeJet®), com câmara de turbilhonamento associada à indução de ar. Essa ponta de pulverização possui ângulo de aspersão de 110°, produzindo gotas extremamente grossas para todas as faixas de pressão, o que demanda uma passagem de líquido mais larga e circulares para minimizar problemas com entupimentos (RAETANO; MOTA, 2019). A recomendação de uso é para aplicações de herbicidas em pré-emergência e herbicidas sistêmicos em pós-emergência, como o glyphosate e aplicações em outras atividades, como a dessecação em condições desfavoráveis, como baixa umidade relativa, alta temperatura e vento (VIANA et al., 2007). Ao avaliar o diâmetro mediano volumétrico (DMV) da ponta de jato plano defletor com indução de ar, modelo TTI 11005, Ferreira et al. (2011) observaram que este modelo produziu gotas com DMV de 688,82 µm, podendo classificá-las como gotas ultra grossas (UC).

Viana et al. (2010) ao avaliar o DMV de pontas de jato plano defletor com indução de ar, modelo 110015 observaram valores acima de 690 µm e baixa porcentagem de volume de gotas com diâmetro menores que 100 µm, características favoráveis para aplicações seguras, onde a deriva de gotas deve ser minimizada.

Atualmente, busca-se cada vez mais reduzir a taxa ou volume de aplicação, buscando aumentar a capacidade operacional dos equipamentos de aplicação, porém a definição do volume de calda deve obedecer a critérios técnicos referentes ao herbicida aplicado (sistêmico ou de contato), condições climáticas observadas no momento da aplicação (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento) e as características do alvo (RAETANO; BOLLER, 2019). O uso de menor volume de calda aumenta a autonomia dos pulverizadores e diminui os riscos de perdas de produto por escorrimento, além de permitir um melhor aproveitamento de água em regiões com grande potencial agrícola, porém com distribuição irregular as chuvas.

Em estudo realizado por Rodrigues; Abi Saab; Gandolfo (2010) a menor taxa de aplicação de glyphosate apresentou eficiência de controle de plantas daninhas igual à apresentada pela maior taxa de aplicação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Instalação e condução dos experimentos

Dois experimentos foram conduzidos em áreas comerciais da Agrícola Rio Claro, localizada no município de Lençóis Paulista, SP, com as coordenadas geográficas: S22°45'50.4" e O48°46'30". Utilizou-se a cultivar RB 966928. A semeadura foi realizada no dia 10 de agosto de 2015 e a colheita entre os dias 07 a 11 de agosto de 2020.

Foram realizadas análises de solo nas áreas (Tabela 1) previamente à instalação dos experimentos e, no dia 29 de setembro de 2020 foi realizada uma adubação da cultura na dose de 320 kg ha⁻¹ do formulado comercial 17-05-22 (N-P-K) em ambas as áreas.

Tabela 1 – Análises química e física de solo da fazenda 33, lote 66, quadra 07, Lençóis Paulista, 2020

Amostra	ID	Fazenda/Lote	P	M.O.	K	Ca	Mg	H+Al	Al	pH	
			mg/dm ³			mmolc/dm ³					
6378/20	RB6928/5C/0-20	33/66	17,0	19,0	1,6	28,0	15,0	30,0	6,0	4,1	
6379/20	RB6928/5C/20-40	33/66	13,0	14,0	0,9	25,0	10,0	36,0	6,0	4,0	
Amostra	ID	Fazenda/Lote	CT	S.B.	V	K/CT	Ca/CT	Mg/CT	Al/CT	m	
			mmolc/dm ³			%					
6378/20	RB6928/5C/0-20	33/66	74,6	44,6	60,0	2,1	37,5	20,1	8,0	11,86	
6379/20	RB6928/5C/20-40	33/66	71,9	35,9	50,0	1,3	34,8	13,9	8,3	14,32	
Amostra	ID	Fazenda/Lote	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg/dm ³			mg/L					
6378/20	RB6928/5C/0-20	33/66	17,5	1,9	9,4	—	—	—	—	—	—
6379/20	RB6928/5C/20-40	33/66	27,8	2,5	11,1	22,0	—	—	—	—	—
Granulometria (g kg ⁻¹)										Textura do solo	
Areia total			Argila			Silte					
718			220			62			Franco-argilo-arenoso		

Devido à baixa precipitação na região na época da rebrota da cana-soca, assim como a abundante presença de palha enleirada na área, houve atraso da germinação das plantas daninhas nas áreas experimentais, fato que iniciou em meados de novembro, quando houve aumento de disponibilidade hídrica no solo, possibilitando a

germinação das plantas daninhas. Os dados pluviométricos (mm) da região da instalação do experimento durante todo o período em que os experimentos foram conduzidos, estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados da precipitação (mm) na região da instalação dos experimentos durante todo o período em que os experimentos foram conduzidos. Estação meteorológica INMET, Bauru – SP

Dias	2020					2021						
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1					4,2	6,6	0,4					
2					34,4	0,2	30					
3					4,4	0,2	0,2	4,0				
4							1,8	16,6				
5					8,8			21,0				
6					0,4	6,4		11,8				
7					11,0			2,8			5,6	
8			2,0					0,2			0,2	
9			0,4			0,4		0,2				
10			2,8								34,8	
11							4,6					
12					14,6	4,6					0,2	
13				7,2	1,6	2,4	1,8			3,6	0,2	
14				0,4	28,2	19,8	54,4					
15			8,2		0,8	3,2		0,8				
16					47,4	1,4	0,2		7,4		0,2	
17	25,6			12	2,8	41,8	1,2		1,4			
18	30,4			18,6	1,6	3,4	0,2	48,2	18,4			
19	0,2			14,6	3,0				0,2			
20			6,2		0,2							
21	3,8	0,6										
22		5,6	0,2							12,2	1,4	
23											0,2	
24			11,6									
25				X*			2,4					
26					45,6	0,2	9,4					
27				2,4	51,0	1,2						
28				0,2	29,8	0,2	27,6					9,2
29					62,4	7,4						
30			3,8	3,2	15,0	4,2						
31					10,8	20,6						
Total	60	6,2	35,2	58,6	378	124,2	134,2	105,6	27,4	15,8	42,8	9,2

*Aplicação do herbicida

O herbicida utilizado foi o amicarbazone (Dinamic®), comercializado na formulação de grânulos dispersíveis, na dose de 1050 g i.a. ha⁻¹ ou 1,5 kg p.c. ha⁻¹. A aplicação

do herbicida foi realizada quando a cultura atingiu o estágio de perfilhamento, na modalidade de pós-emergência inicial das plantas daninhas, em ambos os experimentos, no dia 25 de novembro de 2020, quando as plantas daninhas atingiram uma quantidade máxima de 4 folhas, conforme recomendação da bula do produto. A temperatura e umidade relativa do ar no momento da aplicação foi de 28 ± 1 °C e $65 \pm 5\%$, respectivamente. A velocidade do vento no momento da aplicação foi de 5 km h⁻¹.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com sete tratamentos distribuídos em esquema fatorial 2 x 3 + 1, sendo: 2 pontas (jato plano angulado e jato plano defletor com indução de ar) e 3 volumes de calda (100; 200; e 300 L ha⁻¹), além de um tratamento testemunha (sem aplicação de herbicida), com 5 repetições. A relação com os tratamentos está descrita na Tabela 3. Foram utilizadas 3 pontas de jato plano angulado e 3 pontas de jato plano defletor com indução de ar (Figura 1).

Tabela 3 – Tratamentos utilizados nos experimentos, Lençóis Paulista, 2020

Tratamento	Ponta	Modelo	Pressão de trabalho (kPa)	Vazão (L min ⁻¹)	Velocidade (km h ⁻¹)	Taxa (L ha ⁻¹)
1	-	-	-	-	-	-
2	Jacto J3D	100015	138	0,40	4,80	100
3	Jacto J3D	10002	138	0,54	3,24	200
4	Jacto J3D	100025	138	0,67	2,68	300
5	TTI*	110015	200	0,48	5,76	100
6	TTI	11002	200	0,65	3,90	200
7	TTI	110025	200	0,81	3,24	300

*TTI – Turbo TeeJet Air Induction

Figura 1 – Pontas de jato plano angulado (a); e pontas de jato plano defletor com indução de ar (b)



3.3 Área e equipamento utilizado para aplicação

As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas de 7 metros de comprimento e espaçadas 1,5 m entre si, totalizando 52,5 m², sendo 7 x 7,5 m (comprimento x largura). Para as avaliações foi considerada a área útil das parcelas, a qual corresponde as três linhas centrais, excluindo as demais linhas e um metro no início e ao final de cada parcela, consideradas bordadura. A área total de cada experimento foi de 1. 837,5 m². Para a aplicação do herbicida foi utilizado um pulverizador costal pressurizado por CO₂ e equipado com barra de 3,0 m contendo 6 pontas de pulverização espaçadas 0,5 m entre si mantendo-se uma altura de 0,5 m entre a barra de aplicação e o alvo (Figura 2).

Figura 2 – Aplicação do herbicida amicarbazone utilizando pulverizador costal pressurizado por CO₂, Lençóis Paulista, 2020



3.4 Monitoramento da Taxa de Transporte de Elétrons

O monitoramento do ETR (Electron Transport Rate) foi obtido utilizando-se um fluorômetro portátil, modelo Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS 5p (Opti-Sciences, Hudson, NH03051, USA) (Figura 3). As leituras foram realizadas aos 30, 60, 90 e 120 DAA do herbicida, no terço médio da primeira folha de cima para baixo do colmo com lígulas abertas (folha +1), em 10 plantas escolhidas aleatoriamente na área útil de cada parcela, sempre pela manhã, entre 8 e 12 horas. A decisão de não proceder com leitura aos 15 DAA foi baseada no tempo de ação do herbicida, onde possivelmente não traria danos detectáveis pelo fluorômetro. Os valores da ETR foram expressos em porcentagem do valor médio da ETR da testemunha sem aplicação de herbicida.

3.5 Fitotoxicidade

As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação (DAA), através de observações de possíveis injúrias, atribuindo-se notas percentuais de 0 a 100%, em que zero (0%) representa ausência de fitotoxicidade à cultura e cem (100%) representa morte completa das plantas de cana-de-açúcar, de acordo com a metodologia proposta pela SBCPD (1995) (Tabela 4).

Tabela 4 – Escala de notas para avaliação visual de intoxicação das plantas pelo herbicida

Conceito	Notas	Observação
Muito leve	0-5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, porém, totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46-60	Danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61-100	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para a morte de toda a cultura.

Fonte: SBCPD (1995)

3.6 Estimativa do índice SPAD

O monitoramento do índice SPAD (Soil Plant Analyzer Develop) foi obtido utilizando-se um clorofilômetro portátil (SPAD-502 Minolta Corp., Ramsey, Nova Jersey, EUA) (Figura 3). As leituras foram realizadas em 5 plantas escolhidas aleatoriamente na área útil de cada parcela, sendo obtido o valor médio de 3 avaliações por planta, nos terços superior, médio e inferior da primeira folha de cima para baixo do colmo com lígulas abertas (folha +1), aos 15, 30, 60, 90 e 120 DAA do herbicida.

3.7 Diâmetro do colmo

As avaliações de diâmetro de colmo foram realizadas medindo-se a base do colmo, a 5 cm de altura em relação ao solo, com paquímetro digital (Mitutoyo Absolute 500-196-30B, 150 mm) (Figura 3), em 8 plantas, de forma aleatória na área útil de cada parcela.

Figura 3 – Aparelhos utilizados nas análises

Fonte: google imagens

3.8 Eficácia de controle

O levantamento fitossociológico das espécies foi realizado no local dos ensaios no dia 25 de novembro de 2020, previamente a aplicação do herbicida. Para o levantamento, utilizou-se uma armação metálica com área de 0,5 m², lançada em 5 pontos aleatórios na área útil da parcela. As espécies presentes em cada área amostrada foram contadas e identificadas por meio de literatura especializada. Observou-se a predominância das espécies amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) e falsa-serralha (*Emilia fosbergii*) infestando todas as parcelas dos experimentos, as quais foram utilizadas para a avaliação de eficiência do herbicida.

As avaliações visuais de controle das plantas daninhas foram realizadas aos 15, 30, 60, 90 e 120 DAA. As porcentagens de controle obtidas nas avaliações foram correlacionadas com a escala de notas da SBCPD (1995), apresentada na Tabela 5, que atribui nota de controle, bem como o seu conceito, para cada classe de porcentagem estabelecida.

Tabela 5 – Escala de notas utilizada para avaliação da eficiência de controle de plantas daninhas

Porcentagem de controle (%)	Descrição do controle
(A) 90-100	Excelente ou total
(B) 80-89	Bom, aceitável para infestação da área
(C) 70-79	Moderado, insuficiente para infestação da área
(D) 50-69	Deficiente ou inexpressivo
(E) 0-50	Ausência de controle

Fonte: SBCPD (1995)

3.9 Produtividade da cultura

De modo a determinar a influência do manejo fitossanitário de cada tratamento na produção e produtividade da cultura da cana-de-açúcar, foi realizada, no dia 15 de julho de 2021, a colheita da cana-de-açúcar de cada parcela e, assim, possibilitando a comparação entre tratamentos. Para a estimativa da produtividade de colmos foram coletados ao acaso, do centro da parcela, 10 colmos sem folhas e pesados com balança portátil com precisão de 0,01g (Figura 4). Foi determinado o número total de perfilhos em dois pontos de um metro na região central das parcelas para, então, ser determinada a produtividade da cultura (TCH) através da equação 1 (E1).

$$Produtividade(t\ ha^{-1}) = \frac{Número\ de\ perfilhos\ (por\ ha) \times\ peso\ por\ perfilho(Kg)}{1000} \quad (E1)$$

Figura 4 – Pesagem de 10 colmos de cana-de-açúcar, cultivar RB 966928, com balança portátil com precisão de (0,01g). Lençóis Paulista, SP, 2021



Foto: Flávio Nunes da Silva, 2021

3.10 Análise dos dados

Ao realizar a análise de variância e teste F entre os experimentos, não foram observadas diferenças significativas entre os mesmos ($p > 0,05$), diante disso, realizou-se análise estatística conjunta das duas áreas. Os dados obtidos de fitotoxicidade, diâmetro do colmo, estimativa do índice SPAD, taxa de transporte de elétrons e eficácia do produto foram submetidos a análise de variância e teste F, e quando significativos, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste LSD – Fisher a 5% de probabilidade e em relação a testemunha pelo teste de Dunnett.

Os dados foram analisados pelos softwares estatísticos R (versão 3.5.1), SAS (versão 9.4) e os pacotes de dados Agricolae, Emmeans e Ggplot2. Uma análise multivariada também foi realizada para evidenciar a relação entre os parâmetros avaliados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Monitoramento da taxa de transporte de elétrons

A análise de mudanças na fluorescência da clorofila, detectada pelo fluorômetro, oferece muitas possibilidades não só para determinar a inibição do transporte de elétrons pelo herbicida, mas também para relacionar essas injúrias com a taxa de absorção do herbicida e/ou concentração aplicada (RICHARD JR. et al., 1983).

Os valores médios obtidos para o ETR aos 30 DAA, encontram-se na tabela 6. Pode-se observar que houve efeito na interação entre taxas de aplicação e pontas de pulverização para essa variável. Pelos resultados, o tratamento utilizando a ponta 3D, juntamente com a taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ apresentou o maior valor de ETR, seguido pelo tratamento com a mesma ponta, porém com taxa de 300 L ha⁻¹, onde não houve diferença significativa. O tratamento com a ponta 3D com 100 L ha⁻¹ apresentou o menor ETR entre todos os tratamentos.

Aos 60 DAA, também foi observada interação entre os fatores pontas de pulverização e taxas de aplicação (Tabela 6). Nessa data, observou-se que o tratamento utilizando a ponta TTI, juntamente com a taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹ apresentou o maior valor de ETR, seguido pelo tratamento com a mesma ponta, porém com taxa de 300 L ha⁻¹, onde não houve diferença significativa. O tratamento com a ponta de jato plano angulado com 100 L ha⁻¹ apresentou o menor ETR entre todos os tratamentos, apontando a uma tendência, visto que aos 30 DAA foi observado o mesmo resultado.

Aos 90 DAA, não foram observados efeitos de taxas de aplicação, pontas de pulverização ou interação entre esses fatores para ETR (Tabela 6). Porém, como observado por outros autores, os valores de ETR seguiram tendência de crescimento, indicando uma possível recuperação da cultura.

Aos 120 DAA, novamente foi observada interação entre os fatores pontas de pulverização e taxas de aplicação, onde observou-se que o tratamento com ponta 3D e taxa de 100 L ha⁻¹ se manteve como o tratamento que mais reduziu a taxa de transporte de elétrons entre todos os tratamentos (Tabela 6).

Recomenda-se aplicar o amicarbazone nas modalidades de pré-emergência ou pós-emergência inicial. Na modalidade de aplicação em pré-emergência esse herbicida apresenta um comportamento sistêmico, sendo absorvido pelas raízes e translocando via xilema (TOLEDO et al. 2004). Para aplicações em pré-emergência,

existe a possibilidade de utilizar pontas geradoras de gotas maiores, como gotas grossas até extremamente grossas, devido a sistematicidade do herbicida, não exigindo total cobertura do alvo. Para aplicação em pós-emergência, o herbicida possui absorção predominantemente foliar com translocação limitada, chegando a ser classificado como herbicida de contato (TOLEDO et al. 2004). Para essa modalidade de aplicação, o mais recomendado seria a utilização de pontas que possibilitem uma maior cobertura do alvo, visto que o herbicida atuará apenas no local em que entrar em contato com a planta.

Essa dinâmica do herbicida na planta pode explicar os resultados obtidos nas avaliações da taxa de transporte de elétrons deste experimento, visto que o tratamento utilizando pontas de jato plano angulado, geradoras de gotas médias e com a proposta de garantir melhor cobertura de alvos verticais como gramíneas (RAETANO; MOTA, 2019), foi a que apresentou maior redução para essa variável. O fato da taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹ ter sido a mais prejudicial do ponto de vista da taxa de transporte de elétrons, pode ser explicado pela concentração do produto na calda, que foi maior do que nas taxas de 200 e 300 L ha⁻¹.

Tabela 6 – Redução da taxa de transporte de elétrons aos 30, 60, 90 e 120 DAA do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

30 DAA		
Taxa de aplicação (L ha⁻¹)	Ponta de pulverização	
	3D	TTI
100	44,31 b B	37,88 a A
200	34,49 a A	39,18 b A
300	37,44 a A	37,53 a A
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	0,236	0,629136NS
Taxa (T)	5,591	0,006438*
P * T	8,216	0,000822***
CV(%)	8,35	
60 DAA		
Taxa de aplicação (L ha⁻¹)	Ponta de pulverização	
	3D	TTI
100	17,6 b B	8,0 a A
200	10,4 a A	9,6 a A
300	8,8 a A	8,8 a A
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	6,083	0,017118*
Taxa (T)	2,544	0,088687NS
P * T	3,628	0,033774*
CV(%)	8,00	
90 DAA		
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	0	0,9898NS
Taxa (T)	0,634	0,5346NS
P * T	3,05	0,0562NS
CV(%)	6,38	
120 DAA		
Taxa de aplicação (L ha⁻¹)	Ponta de pulverização	
	3D	TTI
100	8,66 b B	2,36 a A
200	3,93 a A	4,72 a A
300	2,36 a A	4,72 a A
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	0,848	0,36149NS
Taxa (T)	1,328	0,27421NS
P * T	6,817	0,00241*
CV(%)	5,28	

NS: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferiram à $p < 0,05$, pelo teste Fisher – LSD. Letras minúsculas comparam valores entre taxas de aplicação (linha). Letras maiúsculas comparam valores entre pontas de pulverização (coluna)

Em contraste com a testemunha, aos 30 e 60 DAA, observou-se redução significativa nos valores de ETR para todos os tratamentos, com destaque para o tratamento 2, que resultou no menor valor em ambas as datas (Tabela 7). Aos 90 DAA, nota-se que essa diferença deixou de ser constatada para todos os tratamentos, demonstrando uma possível resposta metabólica da cultura, no sentido de destoxificar o herbicida.

Aos 120 DAA, apenas o tratamento 2 voltou a demonstrar diferença significativa, porém ainda muito próximo da testemunha. Esse fato pode ser explicado pelo regime hídrico na região, que apresentou baixos índices pluviométricos na semana durante a avaliação. Sabe-se que situações nas quais o volume de água no solo não atende às necessidades hídricas da cultura, principalmente na fase de crescimento das plantas, observa-se um estresse hídrico, ocasionando uma resposta morfofisiológica da planta resultando no impedimento de trocas gasosas pelos estômatos e no cessamento da fotossíntese, resultando em sintomas cloróticos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Tabela 7 – Redução da taxa de transporte de elétrons em relação a testemunha, em função das pontas de pulverização e taxas de aplicação, aos 30, 60, 90 e 120 DAA do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

ETR (%)				
Tratamento	Dias após aplicação - DAA			
	30	60	90	120
1 - Testemunha	100	100	100	100
2 - 3D/100	44,31*	17,6*	7,93	8,66*
3 - 3D/200	34,49*	10,4*	4,76	3,93
4 - 3D/300	37,44*	8,8*	3,17	2,36
5 - TTI/100	37,88*	8*	3,96	2,36
6 - TTI/200	39,18*	9,6*	6,34	4,72
7 - TTI/300	37,53*	8,8*	5,55	4,72

Médias seguidas por asterisco (*) diferiram em comparação com a Testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

4.2 Fitotoxicidade

Na avaliação de fitotoxicidade para a cultura, aos 15 DAA, não houve interação entre os fatores, apenas para o fator pontas de pulverização houve diferença (Tabela 8). Nessa data, o tratamento utilizando as pontas 3D apresentou sintomas visuais mais acentuados quando comparados aos tratamentos com a ponta TTI. Esses sintomas foram caracterizados pelo secamento das pontas das folhas, juntamente com uma leve clorose das mesmas, sintomas comuns aos herbicidas inibidores do fotossistema II (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

Esse resultado pode ser explicado pelo espectro de gotas de tamanho médio produzido pelas pontas de jato plano angulado, capaz de proporcionar maior cobertura da pulverização, o que, possivelmente, não seria observado ao utilizar pontas de jato plano defletor com indução de ar, que produz gotas extremamente grossas (RAETANO; MOTA, 2019).

Resultado semelhante foi observado por Souza et al. (2009), que constatou em diferentes cultivares de cana-de-açúcar a campo submetidas a amicarbazone aos 15 DAA, valores de intoxicações de 10% para as cultivares em teste. De acordo com a escala de notas utilizada para a avaliação visual de intoxicação das plantas pelo herbicida (SBCPD, 1995), valores entre 6 e 10% são classificados como sintomas nítidos de baixa intensidade. Aos 30 dias não houve efeito para a interação entre os fatores, nem para os fatores pontas ou taxas de aplicação (Tabela 8), porém, visualmente os sintomas de fitotoxicidade ficaram mais severos nessa data (Figura 5).

Aos 60 DAA, foi constatada significância na interação entre os fatores pontas e taxas de aplicação (Tabela 8). Nessa data, todos os tratamentos utilizando pontas de jato plano angulado apresentaram sintomas visuais de fitotoxicidade maiores que os observados com pontas TTI. No comparativo entre taxas de aplicação, o tratamento utilizando a taxa de 100 L ha⁻¹ juntamente com a ponta de pulverização de jato plano angulado apresentou valores significativamente menores de sintomas visuais de fitotoxicidade, comparados aos outros tratamentos.

Nessa última avaliação (60 DAA), observou-se drástica diminuição dos sintomas de fitotoxicidade pela presença de sintomas leves na cultura. Souza et al. (2009), também observou recuperação satisfatória da cultura aos 60 DAA. Segundo o autor, essa recuperação pode estar relacionada com a mobilidade do herbicida no solo com posterior distribuição do mesmo pelo perfil, em função das chuvas, ou ainda pela

capacidade do metabolismo das plantas de destoxificar de alguma forma as moléculas do herbicida.

Tabela 8 – Fitotoxicidade na cultura da cana-de-açúcar (RB966928) aos 15, 30 e 60 DAA do herbicida amicarbazone. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

15 DAA		
Ponta	Fitotoxicidade	
3D	9,3125a	
TTI	7,5625b	
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	9,01	0,00418*
Taxa (T)	1,287	0,28504NS
P * T	0,199	0,82003NS
CV(%)	35,05	
30 DAA		
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	4,015	0,0505NS
Taxa (T)	2,522	0,0905NS
P * T	1,753	0,1838NS
CV(%)	40,77	
60 DAA		
Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Ponta de pulverização	
	3D	TTI
100	8,62 a A	5,56 b A
200	6,50 a B	5,94 b A
300	6,12 a B	5,81 b A
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	27,185	3,54E-06***
Taxa (T)	7,342	0,0016*
P * T	12,164	4,96E-05***
CV(%)	22,65	

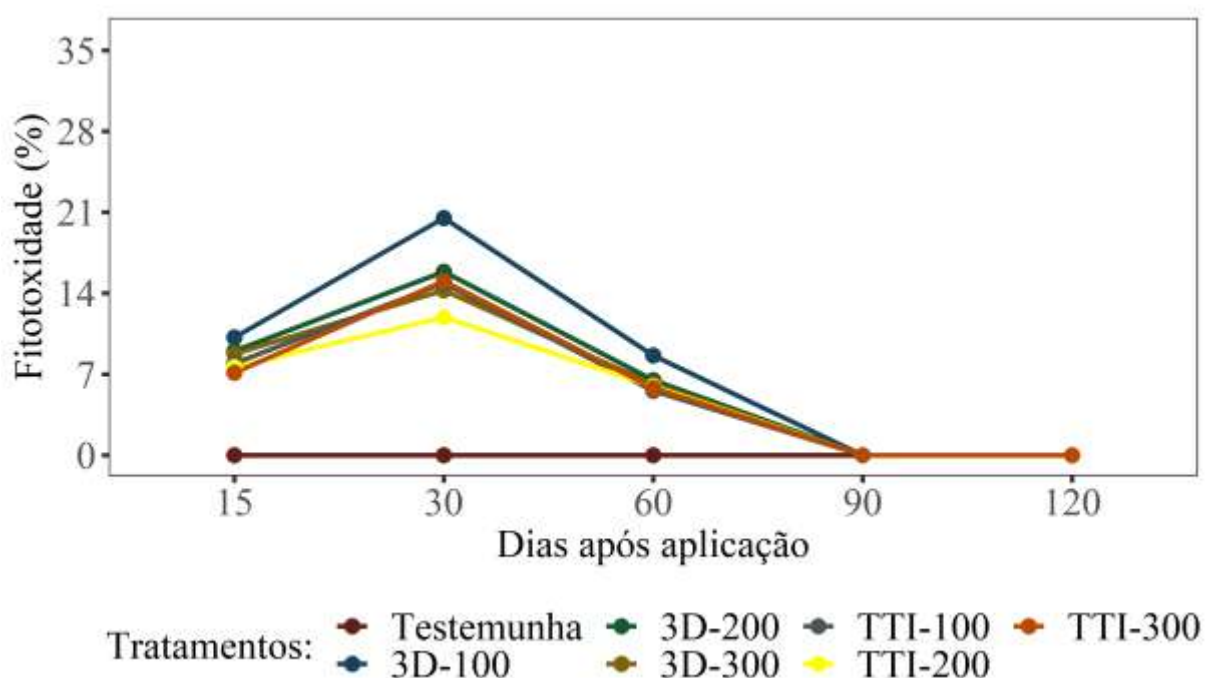
NS: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferiram à $p < 0,05$, pelo teste Fisher – LSD. Letras minúsculas comparam valores entre taxas de aplicação (linha). Letras maiúsculas comparam valores entre pontas de pulverização (coluna)

De maneira geral, os tratamentos apresentaram desempenho semelhante em comparação com a testemunha. Aos 15 DAA, todos os tratamentos apresentaram sintomas nítidos, de baixa intensidade, sendo conceituados como leves, com destaque para o tratamento 2, onde foram observados os sintomas mais contundentes. Aos 30 DAA, esses sintomas se desenvolveram, atingindo o conceito

de moderado, sendo classificados como sintomas nítidos e mais acentuados que na avaliação anterior (Figura 5).

Aos 60 DAA, foi observada diminuição considerável dos sintomas para todos os tratamentos, com valores mais baixos que aos 15 DAA, apesar de ainda pertencerem ao mesmo conceito de sintomas leves, porém se aproximando do conceito muito leve (SBCPD, 1995). Nessa data, o tratamento 2 ainda apresentava sintomas mais contundentes em comparação com os outros tratamentos (Figura 5). Devido à ausência de sintomas visíveis nas folhas da cultura, indicando total destoxificação dos herbicidas ou devido ao desenvolvimento natural da cultura, com formação de novas folhas, aos 90 e 120 dias não foram realizadas avaliações de fitotoxidade na cultura (Figura 5).

Figura 5 – Efeito fitotóxico do amicarbazone aplicado em pós-emergência inicial em cana-de-açúcar, variedade RB 966928, com diferentes pontas de pulverização e diferentes volumes de calda na fitotoxidade. Lençóis Paulista, 2021



4.3 Estimativa do índice SPAD

O medidor de clorofila SPAD-502 pode ser utilizado em plantas intactas em qualquer momento do processo de crescimento das folhas e os valores obtidos podem ser descritos como índice, valor ou leitura SPAD (MINOLTA, 1989). A medição ocorre através de cálculos que se baseiam na quantidade de luz transmitida pela folha, nos

comprimentos de onda de 650 nm e 940 nm. Esse medidor permite a realização de leituras da intensidade da cor verde da folha (valor correspondente ao teor relativo de clorofila) de forma instantânea e sem destruí-la, fato que ocorre no método tradicional via maceração com acetona (AMARANTE et al., 2010).

Os valores médios obtidos para a estimativa do índice SPAD, aos 15 DAA encontram-se na Tabela 9. Pode-se observar que houve efeito de taxas de aplicação e pontas de pulverização e ausência de efeitos na interação entre esses fatores para essa avaliação. Para o fator taxa de aplicação, o tratamento utilizando 300 L ha⁻¹ apresentou o maior valor de índice SPAD, enquanto que o tratamento com 100 L ha⁻¹ apresentou o menor valor. O tratamento com 200 L ha⁻¹ não diferiu estatisticamente de ambos.

Schiavetto et al. (2012) observaram maior redução do teor relativo de clorofila aos 15 DAA, enquanto que aos 50 DAA poucas interferências foram observadas ao aplicar herbicidas inibidores do fotossistema II. Aos 21 DAA, Ferreira et al. (2010) constataram diferentes respostas para herbicidas do fotossistema II em seis variedades CTC, tendo observado desde forte redução no teor de clorofila, a variedades mais tolerantes, com baixas reduções no referido atributo. Arantes et al. (2013) observaram que a mistura clomazone + ametryn promoveu diminuição no índice SPAD com aparecimento de sintomas de clorose intensa e necrose de tecidos, em todas as cultivares até os 14 DAA, a partir do qual houve recuperação desse índice, principalmente nas cultivares RB867515 e IACSP95-5000.

Aos 30, 60 e 90 DAA não foram observados efeitos de taxas de aplicação, pontas de pulverização ou interação entre os fatores citados para o índice SPAD (Tabela 9). Aos 120 DAA, observou-se efeito na interação entre taxas de aplicação e pontas de pulverização para essa variável (Tabela 10). Pelos resultados, o tratamento utilizando a ponta TTI, juntamente com a taxa de aplicação de 300 L ha⁻¹ apresentou o maior valor de SPAD, seguido pelos tratamentos com a mesma ponta, porém com as taxas 100 e 200 L ha⁻¹, que não diferiram entre si. Enquanto que o tratamento com a ponta de jato plano angulado juntamente com a taxa 100 L ha⁻¹ apresentou o menor SPAD entre todos os tratamentos.

Herbicidas como ametryn, diuron, amicarbazone e hexazinone interferem no fluxo de elétrons entre os fotossistemas I e II, causando injúrias nas folhas como clorose e necrose (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018), diminuindo a refletância da coloração

verde, que funciona como um indicativo da presença de clorofila, afetando diretamente nos valores do índice SPAD.

Tabela 9 – Estimativa do índice SPAD aos 15, 30, 60 e 90 DAA do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

15 DAA		
Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	SPAD	
100	39,58 b	
200	40,032 ab	
300	41,581 a	
Ponta	SPAD	
3D	39,28 b	
TTI	41,51533 a	
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	11,218	0,00155*
Taxa (T)	3,297	0,0452*
P * T	1,362	0,2655NS
30 DAA		
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	0,313	0,57829NS
Taxa (T)	0,191	0,82668NS
P * T	1,577	0,21671NS
60 DAA		
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	1,193	0,2799NS
Taxa (T)	0,169	0,8453NS
P * T	0,078	0,9254NS
90 DAA		
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	0,684	0,4121NS
Taxa (T)	0,804	0,4534NS
P * T	0,852	0,4328NS

NS: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferiram à $p < 0,05$, pelo teste Fisher – LSD. Letras minúsculas comparam valores entre taxas de aplicação (linha). Letras maiúsculas comparam valores entre pontas de pulverização (coluna)

Tabela 10 – Estimativa do índice SPAD aos 120 DAA do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

120 DAA		
Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Ponta de pulverização	
	3D	TTI
100	37,9b B	40,1a A
200	40,3a A	40,3a A
300	40a A	40,6a A
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	6,572	0,01342*
Taxa (T)	5,603	0,00638*
P * T	3,361	0,0427*

NS: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferiram à $p < 0,05$, pelo teste Fisher – LSD. Letras minúsculas comparam valores entre taxas de aplicação (linha). Letras maiúsculas comparam valores entre pontas de pulverização (coluna)

De maneira geral, observa-se que todos os tratamentos causaram diminuições nos valores do índice SPAD, em relação a testemunha aos 15 e 120 DAA (Tabela 11). Chama a atenção o fato de o tratamento testemunha apresentar diminuição nos valores aos 30, 60 e 90 DAA, isso pode ser explicado pelo fato de não ter ocorrido chuvas durante as semanas em que ocorreram as avaliações. Sabe-se que situações nas quais o volume de água no solo não atende às necessidades hídricas da cultura, principalmente na fase de crescimento das plantas, observa-se um estresse hídrico, ocasionando uma resposta morfofisiológica da planta resultando no impedimento de trocas gasosas pelos estômatos e no cessamento da fotossíntese, resultando em sintomas cloróticos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Tabela 11 – Índice SPAD em função das pontas de pulverização e taxas de aplicação, e em comparação com a testemunha, aos 15, 30, 60, 90 e 120 DAA do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

SPAD					
Tratamento	Dias após aplicação - DAA				
	15	30	60	90	120
1 - Testemunha	47,2	36,3	38	38,5	42,1
2 - 3D/100	37,7*	35,4	36	37,5	37,9*
3 - 3D/200	39,5*	34,8	36,2	36,6	40,3*
4 - 3D/300	40,6*	36,5	36,2	37	40*
5 - TTI/100	41,4*	36,1	36,6	37,1	40,1*
6 - TTI/200	40,5*	36,2	36,6	37	40,3*
7-TTI/300	42,6*	35,4	37,2	38,3	40,6

Médias seguidas por asterisco (*) diferiram em comparação com a Testemunha pelo teste de Dunnet ($p < 0,05$)

4.4 Diâmetro do colmo

Os valores médios obtidos para o diâmetro dos colmos aos 15 DAA, encontram-se na Tabela 12. Pode-se observar que houve diferença de taxas de aplicação e ausência de efeitos de pontas de pulverização e da interação entre taxas de aplicação e pontas de pulverização para o referido atributo.

Pelos resultados, o tratamento utilizando taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ apresentou o maior diâmetro, enquanto que o tratamento com 100 L ha⁻¹ apresentou o menor diâmetro do colmo. O tratamento com 300 L ha⁻¹ não diferiu de ambos. Em contraste com esse resultado, Galon et al. (2013) não observaram interações entre herbicida inibidor do fotossistema II aplicado isoladamente ou em mistura e os genótipos testados para a característica diâmetro de colmo aferida aos 14 DAA.

Aos 30 DAA, houve efeito apenas no fator ponta de pulverização e ausência de efeitos nas taxas de pulverização e na interação entre os fatores (Tabela 12). Nessa data, o tratamento utilizando pontas de jato plano defletor com indução de ar apresentou diâmetro do colmo maior que o valor observado para o tratamento com pontas de jato plano angulado. Aos 60 e 120 DAA, não foram observados efeitos de taxas de aplicação, pontas de pulverização ou interação entre os fatores citados para diâmetro de colmo (Tabela 12).

Aos 90 DAA, observou-se que houve efeito na interação entre taxas de aplicação e pontas de pulverização para essa característica (Tabela 12). Pelos resultados, o tratamento utilizando a ponta de jato plano defletor com indução de ar, juntamente com a taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ apresentou o maior diâmetro de colmo, seguido pelos tratamentos com a mesma ponta, porém com as taxas 100 e 300 L ha⁻¹, que não diferiram entre si. Enquanto que o tratamento com a ponta de jato plano angulado juntamente com a taxa 100 L ha⁻¹ apresentou o menor diâmetro de colmo entre todos os tratamentos.

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura não avaliam a influência de herbicidas sobre o diâmetro dos colmos de cana-de-açúcar durante todo o desenvolvimento da cultura, limitando-se a avaliar quando a cultura já está plenamente desenvolvida ou por ocasião da colheita, não tendo sido observado prejuízos à cultura em ambos os casos (CHAVES, 2018; FERREIRA, 2016; FRANCHINI et al., 2020; PIZZO et al. 2010; SIMÕES, 2015; SOUZA, 2009).

Tabela 12 – Diâmetro médio (mm) de colmos aos 15, 30, 60, 90 e 120 DAA do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

15 DAA		
Taxa de aplicação (L ha⁻¹)	Diâmetro	
100	15,40526 b	
200	16,42109 a	
300	15,72302 ab	
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	3,716	0,0596NS
Taxa (T)	3,377	0,0421*
P * T	2,754	0,0734NS
30 DAA		
Ponta de pulverização	DIÂMETRO	
3D	17,5979 b	
TTI	18,27136 a	
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	4,21	0,04543*
Taxa (T)	1,329	0,27394NS
P * T	0,521	0,05974NS
60 DAA		
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	1,816	0,1839NS
Taxa (T)	1,36	0,2659NS
P * T	0,426	0,6554NS
90 DAA		
Taxa de aplicação (L ha⁻¹)	Ponta de pulverização	
	3D	TTI
100	25,3 b C	27,7 a A
200	27,6 b A	28,0 a A
300	26,8 b B	27,7 a A
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	14,44	0,000394***
Taxa (T)	5,17	0,0091*
P * T	3,453	0,03938*
120 DAA		
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	1,51	0,2248NS
Taxa (T)	1,121	0,3341NS
P * T	1,493	0,2345NS

NS: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Fisher – LSD. Letras minúsculas comparam valores entre taxas de aplicação (linha). Letras maiúsculas comparam valores entre pontas de pulverização (coluna)

De maneira geral, observa-se que o tratamento utilizando a ponta de jato plano angulado com a taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹ foi o que causou as maiores diminuições nos valores de diâmetro de colmo, com as maiores diferenças significativas em relação a testemunha aos 15, 30 e 90 dias após a aplicação do herbicida (Tabela 13). Aos 60 e 120 DAA não foram observadas diferenças significativas o que pode apontar para uma recuperação da planta, por meio da destoxificação do herbicida ou pelo próprio desenvolvimento natural da cultura, que passa pelo estágio de crescimento dos colmos e acúmulo de sacarose na base.

Tabela 13 – Diâmetro de colmo (mm) em função das pontas de pulverização e taxas de aplicação e em comparação com a testemunha, aos 15, 30, 60, 90 e 120 DAA do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

Tratamento	Diâmetro do colmo (mm)				
	Dias após aplicação - DAA				
	15	30	60	90	120
1 - Testemunha	16,6	19,3	26,9	29,3	30,8
2 - 3D/100	14,6*	17*	25,2	25,3*	28,4
3 - 3D/200	16,5	17,7	26	27,6*	28,1
4 - 3D/300	15,5	18,1	25,6	26,8*	28,2
5 - TTI/100	16,2	18,1	25,9	27,7	27,8
6 - TTI/200	16,3	18,3	26,2	28	28,9
7-TTI/300	15,9	18,4	25,8	27,7	30,1

Médias seguidas por asterisco (*) diferiram em comparação com a Testemunha pelo teste de Dunnet (p < 0,05)

4.5 Eficácia de controle

Os valores médios obtidos a partir da avaliação do controle causado pelo amicarbazone na espécie falsa-serralha (*Emilia fosbergii*) aos 15, 30, 60, 90 e 120 DAA encontram-se na Tabela 14. Não houve efeito dos fatores ponta de pulverização, taxa de aplicação ou interação entre eles para essa variável em nenhuma das avaliações.

Para a espécie amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*) também não foram observadas diferenças significativas dos fatores ponta de pulverização, taxa de

aplicação ou interação entre esses fatores para essa característica nas avaliações (Tabela 15).

Para a espécie capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) aos 15, 30, 90 e 120 DAA também não houve efeito significativo para os fatores em análise, porém aos 60 DAA observou-se efeito significativo para taxa de aplicação, onde a taxa de 300 L ha⁻¹ apresentou porcentagem de controle menor que 100 e 200 L ha⁻¹, as quais não diferiram entre si (Tabela 16).

Para a espécie mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) não foram observadas diferenças significativas nos fatores ponta de pulverização, taxa de aplicação ou interação entre esses fatores para o referido atributo nas respectivas avaliações (Tabela 17).

Tabela 14 – Controle de *Emilia fosbergii* aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

<i>Emilia fosbergii</i>			
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
15 DAA	Ponta (P)	0,3	0,5854
	Taxa (T)	0,14	0,8696
	P * T	0,01	0,9941
	CV(%)	17,43	
30 DAA	Ponta (P)	0,04	0,8492
	Taxa (T)	0,8	0,4544
	P * T	0,03	0,9676
	CV(%)	7,67	
60 DAA	Ponta (P)	0,79	0,3795
	Taxa (T)	0,25	0,7789
	P * T	0,18	0,836
	CV(%)	6,90	
90 DAA	Ponta (P)	1,96	0,1672
	Taxa (T)	0,4	0,6695
	P * T	0,06	0,9463
	CV(%)	4,21	
120 DAA	Ponta (P)	3,4	0,711
	Taxa (T)	0,07	0,9356
	P * T	0,43	0,6557
	CV(%)	3,54	

*Não significativo pelo teste F

Tabela 15 – Controle de *Euphorbia heterophylla* aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

<i>Euphorbia heterophylla</i>			
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
15 DAA	Ponta (P)	0,44	0,5105
	Taxa (T)	0,63	0,5349
	P * T	0,58	0,566
	CV(%)	23,68	
30 DAA	Ponta (P)	1,13	0,255
	Taxa (T)	0,12	0,8908
	P * T	0,54	0,5887
	CV(%)	9,61	
60 DAA	Ponta (P)	0,43	0,5136
	Taxa (T)	0,04	0,9645
	P * T	0,5	0,6078
	CV(%)	7,90	
90 DAA	Ponta (P)	0,87	0,3566
	Taxa (T)	0,78	0,4637
	P * T	0,21	0,814
	CV(%)	5,52	
120 DAA	Ponta (P)	1,94	0,1701
	Taxa (T)	0,09	0,9183
	P * T	0,6	0,5583
	CV(%)	3,09	

* Não significativo pelo teste F

Tabela 16 – Controle de *Digitaria horizontalis* aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

<i>Digitaria horizontalis</i>			
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
15 DAA	Ponta (P)	0,4	0,8523
	Taxa (T)	0,57	0,5686
	P * T	0,66	0,5227
	CV(%)	26,33	
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
30 DAA	Ponta (P)	0,74	0,3949
	Taxa (T)	0,87	0,4249
	P * T	0,05	0,9541
	CV(%)	8,65	
Taxa de aplicação (L. ha⁻¹)		Controle (%)	
	100	99,0a	
	200	99,2a	
	300	95,1b	
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade
60 DAA	Ponta (P)	0,37	0,5468NS
	Taxa (T)	3,49	0,0381**
	P * T	0,17	0,8425NS
	CV(%)	5,65	
	DMS	2,86	
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
90 DAA	Ponta (P)	1,34	0,2525
	Taxa (T)	0,7	0,4992
	P * T	0,13	0,8751
	CV(%)	6,20	
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
120 DAA	Ponta (P)	0,68	0,4119
	Taxa (T)	0,04	0,9626
	P * T	0,25	0,7833
	CV(%)	5,01	

* Não significativo; ** significativo ($P \leq 0,05$), pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem ($P < 0,05$), pelo teste Fisher – LSD

Tabela 17 – Controle de *Mucuna aterrima* aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

<i>Mucuna aterrima</i>			
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
15 DAA	Ponta (P)	0,58	0,4497
	Taxa (T)	0,75	0,4792
	P * T	0,47	0,6295
	CV(%)	19,04	
<hr/>			
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
30 DAA	Ponta (P)	0,32	0,5737
	Taxa (T)	1,37	0,2627
	P * T	0,13	0,8804
	CV(%)	8,45	
<hr/>			
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
60 DAA	Ponta (P)	1,07	0,3057
	Taxa (T)	0,39	0,6786
	P * T	0,73	0,4866
	CV(%)	5,85	
<hr/>			
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
90 DAA	Ponta (P)	0,08	0,7762
	Taxa (T)	1,56	0,2209
	P * T	1,23	0,3007
	CV(%)	5,54	
<hr/>			
	Causa da variação	Teste F	Probabilidade*
120 DAA	Ponta (P)	1,86	0,1793
	Taxa (T)	1,2	0,3084
	P * T	0,22	0,8063
	CV(%)	2,97	

* Não significativo pelo teste F

Os valores médios de controle (%) das plantas daninhas pelo herbicida amicarbazone aplicado em 25 de novembro de 2020, nas diferentes modalidades de aplicação, estão apresentados nas Figuras 6 a 9, assim como os respectivos intervalos de confiança. Aos 120 DAA, observou-se excelente controle das espécies de plantas daninhas para todos os tratamentos. Altos níveis de infestação foram constatados na testemunha (sem aplicação de herbicida) durante todo o período de avaliação do experimento.

O controle da espécie *Emilia fosbergii* aos 120 DAA foi considerado excelente, resultado também observado por Foloni et al. (2011), que, aos 15 DAA já constataram elevados níveis de controle, o que indica que o amicarbazone constitui uma excelente estratégia no manejo dessa espécie.

Níveis elevados de controle da espécie *Euphorbia heterophylla* foram observados por diversos autores ao utilizarem o amicarbazone, o que indica que esse herbicida é uma excelente alternativa para o manejo dessa espécie (CARBONARI, 2007; TOLEDO et al., 2009).

Para a espécie *Digitaria horizontalis* foram observados níveis elevados de controle, o que corrobora com os resultados encontrados por Tropaldi et al. (2017), que aos 30 DAA já observaram controle eficaz dessa espécie, indicando o amicarbazone como alternativa viável no manejo dessa espécie.

Controle satisfatório da espécie *Mucuna aterrima* foi observado nessa pesquisa, resultado também observado por diversos autores ao utilizarem o amicarbazone no manejo dessa espécie, indicando que esse herbicida pode ser utilizado no manejo dessa espécie (BRESSANIN et al., 2015; SILVA; MONQUERO; MUNHOZ, 2015; FERREIRA, 2020).

Figura 6 – Controle (%) de *Emilia fosbergii*, na cultura da cana-de-açúcar aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

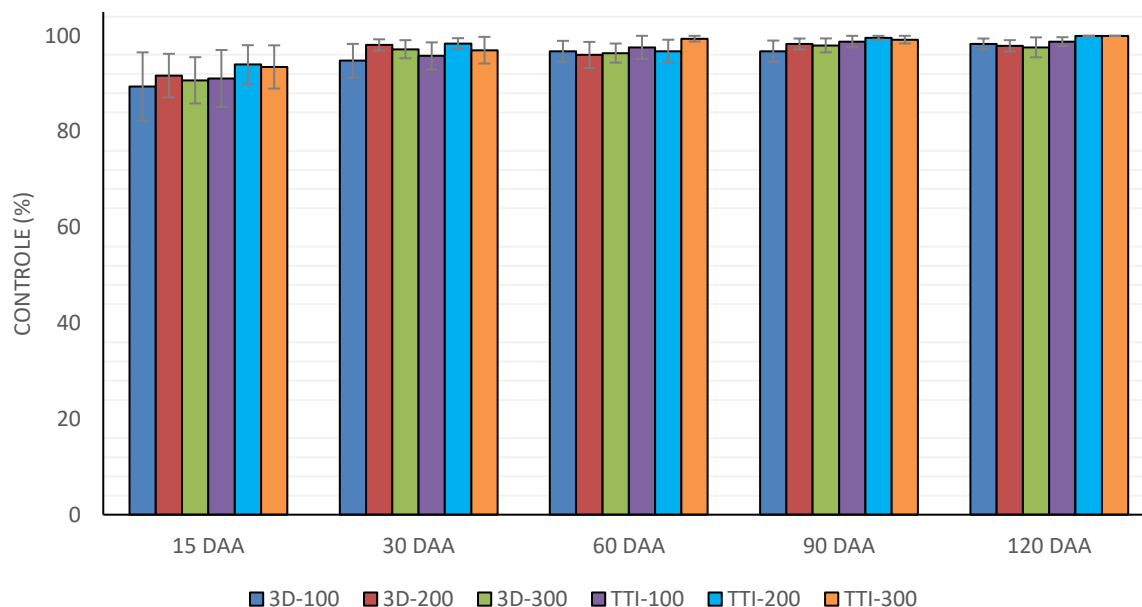


Figura 7 – Controle (%) de *Euphorbia heterophylla*, na cultura da cana-de-açúcar aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

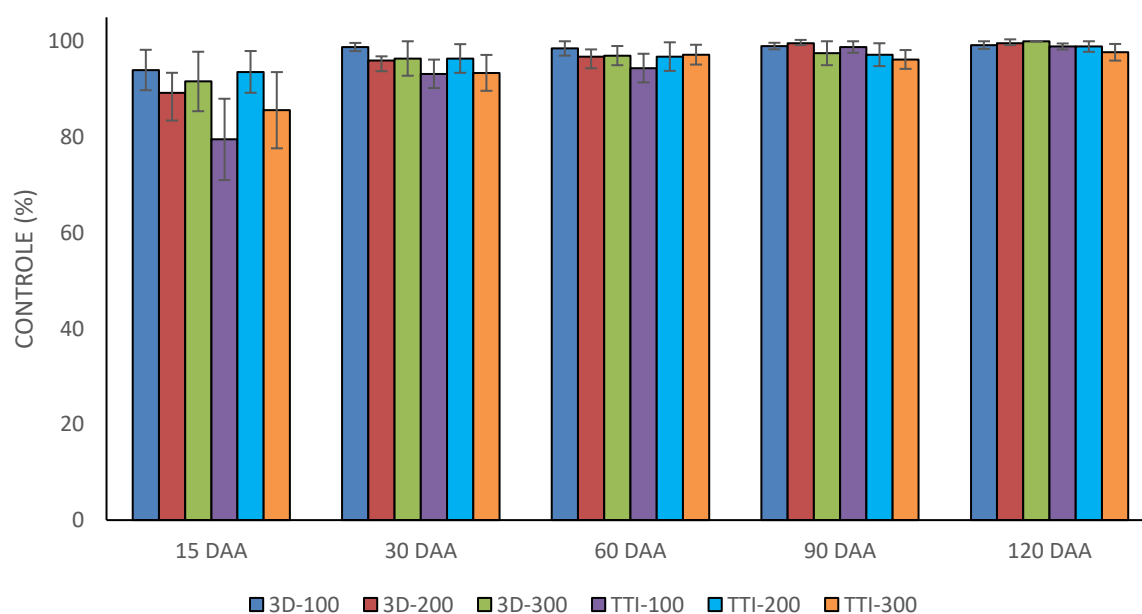


Figura 8 – Controle (%) de *Digitaria horizontalis*, na cultura da cana-de-açúcar aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

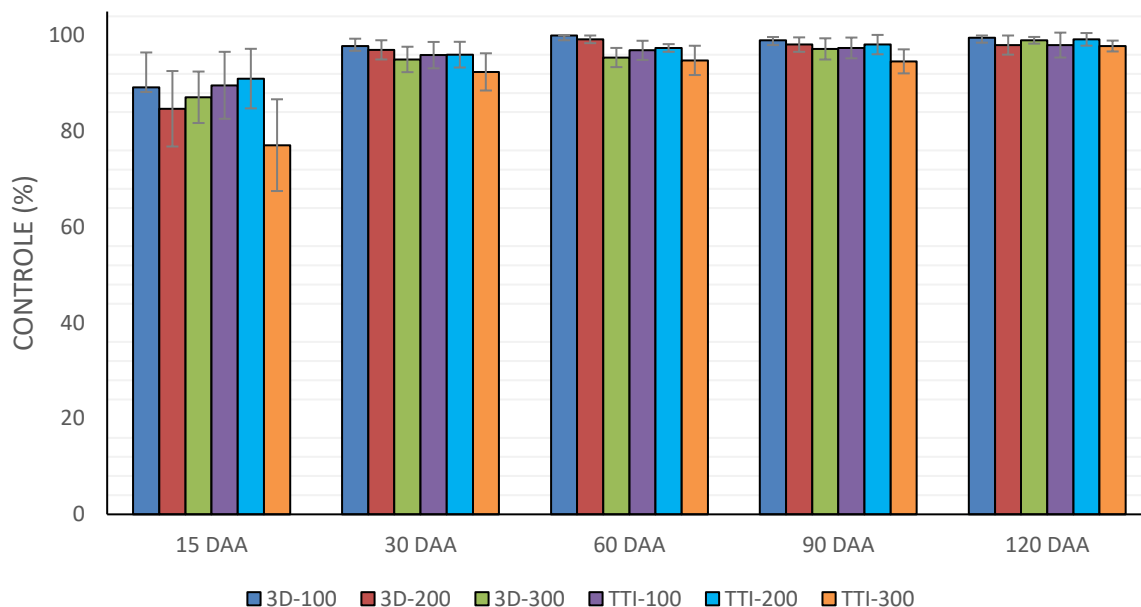
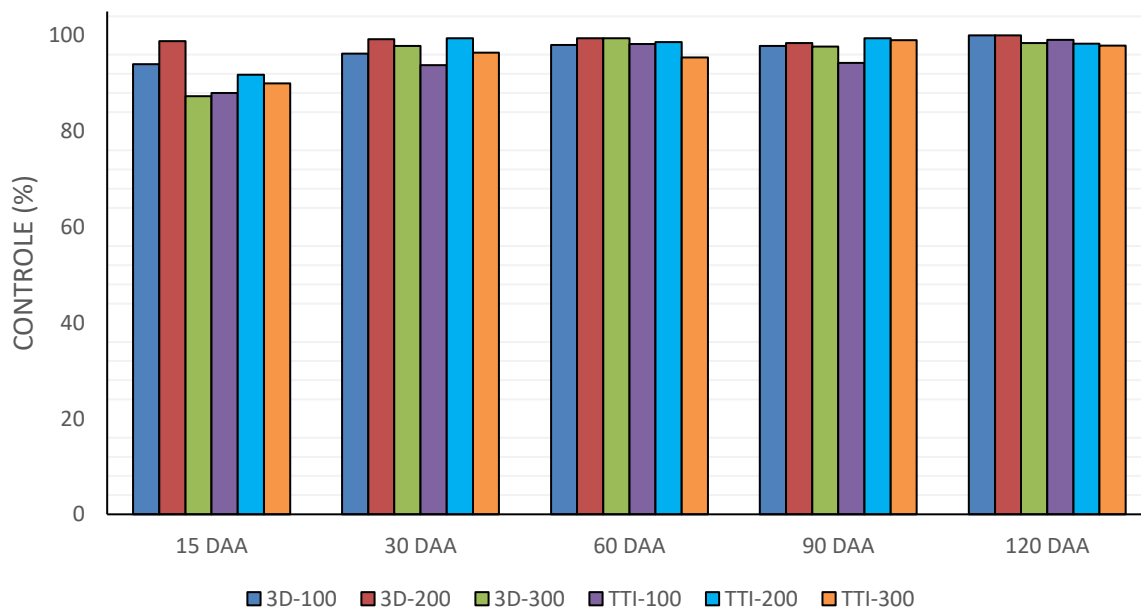


Figura 9 – Controle (%) de *Mucuna aterrima*, na cultura da cana-de-açúcar aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Lençóis Paulista, SP, 2020/21



4.6 Produtividade da cultura

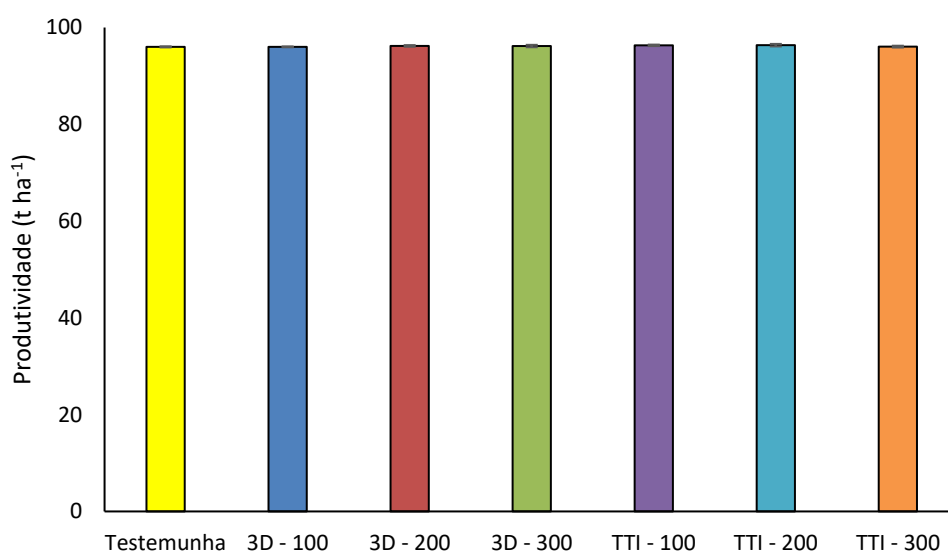
Os valores médios de produtividade da cultura estão apresentados na Tabela 18. Pode-se observar que os tratamentos com herbicida não influenciaram na produtividade da cultura, independente das condições operacionais utilizadas.

Tabela 18 – Produtividade da cultura aos 230 dias após a aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone na cana-de-açúcar. Lençóis Paulista, SP, 2020/21

Produtividade		
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Ponta (P)	2,69	0,1068NS
Taxa (T)	0,84	0,4356NS
P * T	1,99	0,1465NS
CV(%)	0,55	

^{NS}: Não significativo pelo teste F

Figura 10 – Produtividade ($t\ ha^{-1}$) da cana-de-açúcar aos 230 dias após aplicação (DAA) do herbicida amicarbazone, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Lençóis Paulista, SP, 2020/21



5 CONCLUSÃO

Nas condições em que os experimentos foram conduzidos pode-se concluir que:

- A utilização de diferentes métodos operacionais pode influenciar na seletividade do herbicida amicarbazone para a cana-soca, cultivar RB 966928;
- A utilização da ponta de jato plano angulado juntamente com a taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹ diminuiu os atributos diâmetro de colmo, índice SPAD e ETR, e aumentou o parâmetro fitotoxicidade, tendendo a igualar no decorrer do período de condução do experimento;
- Aplicações do herbicida amicarbazone em pós-emergência inicial com a ponta de pulverização de jato plano defletor com indução de ar (TTI) pode caracterizar uma ferramenta de seletividade à cultura da cana-de-açúcar com 1/2 do menor volume recomendado na bula (200 L ha⁻¹);
- A aplicação de amicarbazone, resultou em excelente controle de falsa-serralha (*Emilia fosbergii*), amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), na cana-soca, independente da ponta de pulverização e volume de calda (100, 200 e 300 L ha⁻¹).

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. G. **Avaliação exérgica dos efluentes do processo industrial do álcool**. 2005. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- AMARANTE, C. V. T. et al. Quantificação de clorofilas em folhas de milho através de métodos ópticos não destrutivos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 1, p. 39-50, 2010.
- ARALDI, R. **Avaliação da absorção do amicarbazone e intoxicação em cana-de-açúcar e plantas daninhas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- ARALDI, R. et al. Avaliação da intoxicação de cultivares de cana-de-açúcar e *I. grandifolia* ao amicarbazone. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 869-875, 2011.
- ARANTES M. T. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas seletivos. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1206-1214, 2013.
- AZANIA, C. A. M. et al. Tolerância de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados antes do plantio. In: **X Workshop Agroenergia**, Ribeirão Preto, 2016,.
- AZANIA, C. A. M.; ROLIM, J. C.; AZANIA, A. A. P. M. Planta daninha. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VANCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 465-490, 2008.
- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**. Palo Alto, n. 59, p. 89-113. 2008.
- BOLLER, W.; MACHRY, M. Efeito da pressão de trabalho e de pontas de pulverização sobre a eficiência de herbicidas de contato em soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 722-727, 2007.
- BOLLER, W.; RAETANO, C.G. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibração de pulverizadores de barras. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 1 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, p. 51-65, 2011.
- CARBONARI, C. A. **Eficácia do herbicida amicarbazone em aplicação conjunta com a colheita de cana-de-açúcar no controle das principais plantas daninhas**

da cultura. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

CARBONARI, C. A. et al. Efeitos de diferentes condições de umidade do solo e profundidade de germinação de *Brachiaria plantaginea* e *Digitaria* spp. Sobre a eficácia do herbicida amicarbazone. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 8, n. 3, p. 68-74, 2009.

CATANEO, A.C.; CARVALHO, J.C. Desintoxicação de herbicidas pelas plantas: transformação química e compartimentalização vacuolar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo fundo: Embrapa Trigo, p. 78, 2008.

CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. Tecnologia de aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 1 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, p. 261-282, 2011.

CHAPOLA, R. G. Censo varietal de cana-de-açúcar dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em 2020. **Canavieiros**, Sertãozinho, n. 178, p. 112-113, mai. jun. 2021.

CHAVES, A. R. C. S. **Seletividade de herbicidas no cultivo de cana energia**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas. In: II Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar, 2005, Piracicaba. **Anais...** ESALQ/POTAFOS, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 5 - Safra 2020/21, n.4 - Quarto levantamento, Brasília, p.1-57, 2021.

CORREIA, N. M.; REZENDE, P. M. **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura da soja**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 55 p. (Boletim Agropecuário, 51).

CORTEVA. **Manejo de plantas daninhas: mecanismos de ação de herbicidas**. Boas práticas agrícolas. 2018.

DAN HESS, F. Mode of action of photosynthesis inhibitors. In: PURDUE UNIVERSITY. **Herbicide Action Course**. West Lafayette, p. 85-102, 1994.

- DAYAN, F. E.; TRINDADE, M. L. B.; VELINI, E. D. Amicarbazone, a new photosystem II inhibitor. **Weed Science**, v.57, 579-583p. November–December, 2009.
- FERREIRA, E. A. et al. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 1, p. 93-99, 2005.
- FERREIRA, M. C. et al. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 697-705, 2011.
- FERREIRA, P. S. H. **Seletividade dos herbicidas amicarbazone e sulfentrazone para cana-soca seca, utilizando-se testemunha pareada, e ação na microbiota do solo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.
- FERREIRA, R. R. et al. Tolerância diferencial de variedades de cana-de-açúcar a estresse por herbicidas. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 395-404, 2010.
- FOLONI, L. L. Avaliação de herbicidas aplicados em pós-emergência sobre e sob a palha em cana crua e o destino ambiental. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 2, p. 447-455, 2011.
- FRANCHINI, L. H. M. et al. Seletividade de herbicidas em pré e pós-emergência da cana-de-açúcar com e sem a queima da palha. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.6, p.33666-33685. jun. 2020.
- FRANCONERE, R. **Mercado de herbicidas na cana-de-açúcar**. 2010. Dissertação (mestrado profissional) - Escola de Economia de São Paulo, São Paulo, 2010.
- GALON, L. et al. Efeito de herbicidas nos componentes de rendimento de genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v.12, n.2, p.131-142, mai./ago. 2013.
- GIROTTI, M. et al. Eficiência fotossintética de cultivares de cana-de-açúcar e de diferentes espécies de plantas daninhas após a aplicação do diuron. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 599-606, 2012.
- HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível em: <www.weedscience.com>. Acesso em: 22 de outubro de 2021.

- KUVA, M. A. et al. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. II Capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 19, n. 3, p. 323-330, 2001.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7 ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2014.
- MARIN, F. R. **Características: Cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_20_3112006152934.html>. Acesso em: 16 jan. 2020.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Ed. FUNEP, 1990. 139p.
- MEIRELLES, G. L. S., ALVES, P. L. C. A.; NEPOMUCENO, M. P. Determinação dos períodos de convivência da cana-soca com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p. 67-73, 2009.
- MINOLTA CAMERA Co., Ltda. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka, Minolta, Radiometric Instruments divisions. p. 22, 1989.
- MONQUERO, P. A. et al. Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p.286-293, 2011.
- NEGRISOLI, E. et al. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura de cana-de-açúcar tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 22, p.567-575, 2004.
- NEGRISOLI, M. M. et al. Otimização da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitário em pulverização aérea. In: BALDIN, E. L. L.; KRONKA, A. Z.; DA SILVA, I. F. **Inovações em Manejo Fitossanitário**, Botucatu: FEPAF, v1 p. 87-107, 2017.
- OBARA, F. E. B. et al. Seletividade da associação dos herbicidas imazapic e imazapyr aplicada em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar. **Nucleus**, Ituverava, v. 12, n.1, abr. 2015.
- OLIVEIRA JUNIOR, R. S. et al. Mecanismos de ação de herbicidas. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021.
- OMETTO, A. R. **Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- PENTAIR. Hypro Nozzles. **Crop spraying pocket guide**. 2018

- PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 129, p.16-27, 1985.
- PITELLI, R. A., DURIGAN, J. C. Terminologia para períodos de controle e convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15, 1984, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: SBHDE, p.37, 1984.
- PIZZO, I. V. et al. Seletividade e eficácia de controle de plantas daninhas pela associação entre óleo fúsel e herbicidas em cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 347-357, 2010.
- PRO OPERATOR (2016). **Autumn application special in association with Syngenta – Best practice in the field**. Disponível em: <https://www.syngenta.co.uk/file/13966/download?token=z6CVwVn7>. Acesso em: jan. 2020.
- PROCÓPIO, S. O. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa. Universidade Federal de viçosa, 150p. 2003.
- RAETANO, C. G.; BOLLER, W. Regulagens e calibração de pulverizadores. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, p. 91-104, 2019.
- RAETANO, C. G.; MOTA, A. A. B. Pontas de pulverização hidráulicas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, p. 67-90, 2019.
- REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO - RIDESA. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar** / Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. – Curitiba, p. 136, 2010.
- REIS, F. C. et al. Seletividade, hormesis e fisiologia dos herbicidas nas plantas. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021.
- RICHARD JR, E.P. et al. Determination of herbicide inhibition of photosynthetic electron transport by fluorescence. **Weed Science**, v.31, p.361-367, 1983.
- ROCHA NETO, A. R. Tolerância de mudas pré brotadas de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pré plantio. **IX Workshop Agroenergia**. Ribeirão Preto, 2015.

- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 7ª ed., Londrina, p. 764, 2018.
- RODRIGUES, E. B. ABI SAAB, O. J. G.; GANDOLFO, M. A. Cana-de-açúcar: avaliação da taxa de aplicação e deposição do herbicida glifosato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.1, p.90–95, 2011.
- RODRIGUES, F. S.; SERATTO, C. D. **Cadeias produtivas da cana-de-açúcar, do algodão e das frutas**. Centro universitário de Maringá. Núcleo de Educação a distância: Maringá -PR, p. 199, 2012.
- ROLIM, J.C.; CHISTOFFOLETI, P.J. Tolerância de variedades de cana-de-açúcar ao herbicida tebuthiuron. Piracicaba: **IAA-Planalsucar**, p.1-21, 1982.
- ROSSI, C. V. S. **Dinâmica e eficácia no controle de plantas daninhas pelo herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Adubação: resíduos alternativos**. EMBRAPA, 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_71120>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- SCHIAVETTO, A. R. et al. Tolerância de cana-de-açúcar a herbicidas avaliada pela diferença dos tratamentos. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 173-184, 2012.
- SILVA, P. V. et al. Sensibilidade de mudas pré-brotadas e minirrebolos de cana-de-açúcar a herbicidas pré-emergentes. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 4, p. 498-505, jul./ago. 2020.
- SIMÕES, P. S. **Seletividade de herbicidas inibidores do fotossistema II para cultivares de cana-de-açúcar**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, p. 42, 1995.
- SOUZA, J. R. et al. Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.941-951, 2009.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia do estresse. **Fisiologia vegetal**, Londrina, v.4, p.738-772, 2004.
- 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, p. 451, 2004.
- TOLEDO, R. E. B. et al. Eficácia do herbicida amicarbazone aplicado sobre a palha ou no solo no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 319-326, 2009.
- TROPALDI, L. et al. Herbicidas inibidores do fotossistema II em pré-emergência no controle de espécies de capim-colchão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v.16, n.1, p.30-37, jan./mar. 2017
- VELINI, E. D. et al. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré e pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 18, n. 1, p. 123-134, 2000.
- VIANA, R. G. et al. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 211-218, 2007.
- VIANA, R G. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.
- VICTORIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. ja/ju, p. 32-37, 2004.
- VOLTOLINI, T. V. et al. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, Salvador, v.13, n.4, p.894-901 out./dez., 2012.
- YAMAMOTO, Y. Quality control of photosystem II. **Plant Cell Physiol.**, v. 42, n. 2, p. 121-128, 2001.
- ZERA, F. S. **Tolerância de *Saccharum spp.*, *Ricinus communis* e *Luffa aegyptiaca* a herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar.** 2010. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2010.