**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Seletividade do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl
aplicado em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-
açúcar**

Juliana Stéfani Jabur de Assis

Dissertação para obtenção do título de Mestra em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2016**

Juliana Stéfani Jabur de Assis
Engenheira Agrônoma

**Seletividade do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aplicados
em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RICARDO VICTORIA FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Assis, Juliana Stéfani Jabur de

Seletividade do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aplicado em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar / Juliana Stéfani Jabur de Assis. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

71 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Época de aplicação 2. Tolerância 3. Fitotoxicidade 4. Produtividade I. Título

CDD 633.61
A848s

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

De todo coração, aos meus pais, Hélio e Selma, e ao meu esposo Junior, que sempre estiveram ao meu lado nas dúvidas e incertezas, vitórias e derrotas, presentes em tudo que vi, ouvi e aprendi, e certamente, permanecerão assim por toda vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais Hélio e Selma pelo apoio, incentivo, e por proporcionar as melhores condições de ensino, e também a minha irmã Amanda. E especialmente, ao meu pai, que por muitas vezes me auxiliou no ensaio de campo.
- Ao meu esposo Junior pela paciência, incentivo, amor, e principalmente, disposição para ajudar em todas as fases de condução dos ensaios.
- Ao Prof. Dr. Ricardo Victoria Filho pela oportunidade, aprendizagem, paciência e orientação.
- Ao Sr. Samuel Rodrigues Alves pela oportunidade de trabalhar junto na empresa Dupont do Brasil S/A., e pelo apoio no decorrer do mestrado.
- Ao Sr. Roberto Toledo pelas sugestões no início do trabalho.
- A empresa Raízen por disponibilizar a área para o ensaio de campo, e auxílio durante o experimento.
- Ao Prof. Dr. Valdemar Luiz Tornisielo por auxiliar e permitir o uso da estrutura do Laboratório de Ecotoxicologia.
- À Sra. Luciane Ap. Lopes Toledo, secretária da PPG de Fitotecnia por todo auxílio na parte burocrática durante o mestrado.
- Aos funcionários do departamento de Produção Vegetal da ELSAQ – USP, Aparecido Serrano, Luiz Ferrari e Clayton Coralito.
- À Fabrícia Reis pela ajuda durante todas as etapas do trabalho, desde o início do mestrado, ensinando e orientando.

- À Bianca Martins que se comprometeu prontamente a auxiliar na interpretação dos dados do ensaio de laboratório, fazendo com que as coisas se tornassem simples e de fácil entendimento.
- Aos amigos Leonardo Perez, Murilo Bagatta, Bruna Arruda e Débora Latorre pelo auxílio na instalação, na obtenção e interpretação dos resultados.
- À Ana Correr por estar sempre pronta a auxiliar nas dúvidas durante o trabalho, e nos pedidos de ajuda quando eu não estava presente em Piracicaba.
- À minhas amigas irmãs Marina Mengardo Gouvêa, Tainara Santos, Aline Coelho Frasca e, que de perto ou de longe, apoiam e acompanham na caminhada pessoal, profissional e acadêmica.

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

"A vida tem sua própria sabedoria. Quem tenta ajudar uma borboleta a sair do casulo a mata. Quem tenta ajudar o broto a sair da semente o destrói. Há certas coisas que têm que acontecer de DENTRO para FORA."

Rubem Alves

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Uso de herbicidas na cana-de-açúcar.....	17
2.2 Seletividade de herbicidas na cana-de-açúcar.....	19
2.3 Diuron, hexazinone, sulfometuron-methyl e suas propriedades.....	22
2.4 Mecanismo de ação de herbicidas inibidores do Fotossistema II.....	24
2.5 Mecanismo de ação de herbicidas inibidores a ALS	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Seletividade dos herbicidas diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl e amicarbazone, em diferentes estádios fenológicos da cultura de cana-de-açúcar	27
3.2 Tolerância de diferentes variedades de cana-de-açúcar ao herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl	30
3.3 Absorção e translocação de ¹⁴ C- sulfometuron-methyl em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Seletividade dos herbicidas diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl e amicarbazone, em diferentes estádios fenológicos da cultura de cana-de-açúcar	35
4.2 Tolerância de diferentes variedades de cana-de-açúcar ao herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl	42
4.3 Absorção e translocação de ¹⁴ C- sulfometuron-methyl em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	52
5 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	65

RESUMO

Seletividade do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aplicados em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar

O herbicida deve ter a capacidade de controlar as plantas daninhas sem reduzir a produtividade e a qualidade da matéria-prima. Todavia, a tolerância da cana-de-açúcar pode variar com o herbicida, a dose desse produto, o genótipo da variedade, a época de aplicação (semi-seca, seca, semi-úmida e úmida), ambientes de produção, o estágio fenológico da cultura, dentre outros fatores. Visando o melhor entendimento do comportamento da cana-de-açúcar a aplicações do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl, avaliou-se a seletividade em diferentes estádios de desenvolvimento, em condições de campo, em casa de vegetação, e em laboratório. No campo, com início em setembro de 2013, as aplicações deste herbicida foram feitas em pré-emergência, esporão, 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas, comparando com o desempenho do herbicida amicarbazone, nas mesmas épocas, em canavial de segundo corte, onde avaliou-se fitotoxicidade, os parâmetros tecnológicos (fibra, pol, brix e ATR) e a produtividade. Constatou-se que mesmo com índices de fitotoxicidade altos nos diferentes estádios de desenvolvimento até 90 DAA, a produtividade não foi prejudicada a níveis significativos, bem como os parâmetros tecnológicos, quando comparados a testemunha. Na casa de vegetação, foi avaliado a seletividade do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl nos mesmos estádios de desenvolvimento avaliados em campo, nas variedades CTC 15, RB86-7515, BR85-5536 e RB92-579. Observou-se diferenças significativas entre as variedades na variável altura em uma mesma época de aplicação, porém não refletiu na massa de matéria seca da parte aérea, a qual manteve-se semelhante entre os tratamentos. Para entendimento da fisiologia deste herbicida em cana-de-açúcar, avaliou-se a absorção e translocação ao longo do tempo, após sua aplicação nas fases de 2 a 3 e 5 a 6 folhas, onde apesar de serem detectadas diferenças significativas no quesito fitotoxicidade em ensaio de campo preliminar, tal acontecimento não pode ser justificado por diferenças no parâmetro absorção, conforme resultados do estudo.

Palavras-chave: Época de aplicação; Tolerância; Fitotoxicidade; Produtividade

ABSTRACT

Selectivity of the herbicide diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl applied at different stages of development of sugarcane

The herbicide should be capable of controlling weeds without reducing productivity and quality of the raw material. However, the tolerance of sugarcane can vary with the herbicide, the dose of this product, the variety genotype, timing of application (semi-dry, dry, semi-wet and wet), production environments, the stadium phenological culture, among other factors. Aimed at better understanding the behavior of sugarcane to the herbicide diuron + hexazinone applications + sulfometuron-methyl, evaluated the selectivity at different stages of development in field conditions in the greenhouse and in the laboratory. In the field, starting in September 2013, the applications of this herbicide were made in pre-emergence, spur, 2-3 leaves and 5-6 leaves, compared to the performance of amicarbazone herbicide, at the same times, in the second cut cane field where phytotoxicity was evaluated, the technological parameters (fiber, pol, Brix and ATR) and productivity. It was found that with high phytotoxicity rates in different stages of development up to 90 DAA, productivity was not affected at significant levels, as well as technological parameters compared the witness. In the greenhouse, the selectivity of the herbicide diuron + hexazinone was rated + sulfometuron-methyl the same developmental stages evaluated in the field, in varieties CTC 15, RB86-7515, BR85-5536 and RB92-579. There were statistically significant differences between varieties in the variable height in the same time of application, but not reflected in the dry matter of the shoot, which remained similar between treatments. In order to understand the physiology of this herbicide in sugarcane, studies with absorption and translocation was carried out over time, after application in the stages of 2 to 3 and 5 to 6 leaves, which despite being detected significant differences in field test for phytotoxicity such an event can not be justified by differences in absorption parameter, according to study results.

Keywords: Application time; Tolerance; Phytotoxicity; Productivity

1 INTRODUÇÃO

Cultivada desde o período colonial, a cultura da cana-de-açúcar cada vez mais ganha importância no cenário do agronegócio. O Brasil é o maior produtor de açúcar e etanol no mundo, e está expandindo fronteiras no mercado externo com uma das melhores opções de energia renovável (BRASIL, 2012). Desenvolver tecnologias para o aprimoramento da produção é fundamental para garantir o atendimento à demanda nacional e mundial.

Atualmente, a produção de açúcar brasileira corresponde a mais da metade da produção mundial, com perspectivas de até 2018/19 aumentar em 14,6 milhões de toneladas com relação à safra 2007/08, sendo que 32,6 milhões de toneladas serão exportadas até esse mesmo período futuro. Para o etanol espera-se que em 2019, a produção seja mais que o dobro que 2008, atingindo 58,8 bilhões de litros, sendo que o consumo interno alcançará 50 bilhões de litros. Com relação ao PIB do setor, em 2020 almeja-se que o montante atinja US\$90 bilhões, além de gerar um milhão de novos empregos diretos e indiretos (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2011).

Em virtude dessa necessidade do aumento da produção, o manejo adequado da cultura é de vital importância. Um dos fatores preocupantes é a interferência das plantas daninhas no crescimento e desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar, refletindo em reduções significativas de produção, onde seu controle pode chegar até 30% do custo de produção de cana-soca, e até 25% em cana-planta, variando com o grau de infestação e espécie de planta daninha predominante na área (LORENZI, 1988). Kuva (2008) constatou que a produtividade da cana-de-açúcar sem a interferência chegou a 100 t/ha, já quando a comunidade infestante de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) convivia com a cultura até a colheita, 82% de produtividade eram decrescidas.

A principal forma de controle das plantas daninhas é o método químico, sendo que quando os herbicidas forem utilizados de forma correta, provocam a morte ou retardam o crescimento das mesmas. As vantagens do método químico estão na facilidade de empregá-lo em grandes áreas, na alta eficiência, na rapidez do controle, no custo relativamente adequado (VICTORIA FILHO, 2004), e ainda pela

gama de produtos presentes no mercado recomendados para a cultura de cana-de-açúcar.

O manejo das plantas daninhas geralmente inicia-se logo após a colheita da cana-de-açúcar, em pré-emergência da cultura ou das plantas daninhas, que no estado de São Paulo ocorre no período de março/ abril a novembro/dezembro. Entretanto, devido as extensões das áreas de canavial, fatores operacionais e ocorrência de condições favoráveis de umidade no solo que possibilitam a ativação do herbicida, as plantas de cana-de-açúcar podem iniciar o processo de brotação, acarretando em aplicações em pós-emergência da cultura.

A absorção do herbicida, sua translocação e sua atividade é influenciada pela idade da planta. Geralmente, plantas jovens são mais susceptíveis a herbicidas do que plantas mais velhas, principalmente porque as plantas jovens possuem mais tecidos meristemáticos. Entretanto, outros fatores que estão relacionados ao estágio fenológico, como as características das folhas, por exemplo, também podem influenciar na seletividade. Basicamente, a superfície e o ângulo de inserção foliar, forma, número e arranjo do dossel, afetam a interceptação e a retenção do herbicida pulverizado, resultando em maior ou menor atividade do mesmo sobre a planta.

Nesse panorama, a identificação dos possíveis efeitos de fitotoxicidade a cultura da cana-de-açúcar em diferentes estádios de desenvolvimento e variedades cultivadas, bem como o reflexo na produtividade final e nos fatores de qualidade, foram os objetivos desse trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uso de herbicidas na cana-de-açúcar

Tendo em vista os fatores bióticos envolvidos na produção, a interferência de plantas daninhas causa sérios prejuízos ao canavial, com relação ao desenvolvimento e a produtividade (KUVA et al., 2008). Essa convivência com as plantas daninhas, segundo Procópio (2008), pode resultar em reduções na quantidade e na qualidade do produto colhido, devido ao efeito de alelopátia das mesmas, reduzir o número de cortes viáveis, dificultar as operações de colheita e de transporte, além de serem potenciais hospedeiras de pragas e de doenças para a cultura.

Como forma de evitar essa interferência negativa, o método químico entra como a melhor forma de controle. Os herbicidas para o controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar podem ser aplicados em pós-emergência, onde doses adequadas são dirigidas diretamente sobre a vegetação para absorção foliar, ou em pré-emergência, sendo que a aplicação é dirigida ao solo, e absorvidos por tecidos formados após a germinação da semente, antes na emergência da plântula na superfície (BLANCO, 2002).

A aplicação de herbicidas nas lavouras de cana-de-açúcar possui inúmeras vantagens, contudo existem aspectos que devem ser considerados, pois o manejo de herbicidas exige do produtor a plena conscientização da necessidade de equilibrar os possíveis danos à cultura e ao ambiente com o controle satisfatório das plantas daninhas. Na cultura da cana-de-açúcar, atualmente, existem cerca de 28 moléculas herbicidas registradas que podem ser ferramentas de manejo em condições de pré-plantio (PP), pré-emergência (PRÉ), pós-emergência (PÓS) e pós-emergência em jato dirigido (PÓSd) (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

O uso de herbicidas em pré ou pós-emergência, quando posicionados adequadamente, é de alta eficácia no controle das plantas daninhas (AZANIA, 2008). Os herbicidas utilizados para a cultura da cana-de-açúcar, na sua maioria, são 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 (ARALDI, 2010).

No Brasil, estão registradas cerca de 47 formulações herbicidas para uso na cultura da cana-de-açúcar, descritas pelo Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT, 2014). A grande maioria dos herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar são recomendados para aplicação em pré-emergência ou pós-emergência inicial da cultura e das plantas daninhas, sendo assim, o principal destino da maior parte dos herbicidas é o solo. Portanto, estes herbicidas apresentam a dinâmica afetada por fatores ligados às características físico-químicas do herbicida (solubilidade, adsorvidade, volatilidade e outras). Estas propriedades relacionadas com as condições climáticas e edáficas irão determinar a disponibilidade do herbicida na solução do solo (CHRISTOFFOLETI; OVEJERO, 2005).

O manejo das plantas daninhas, e outros tratos culturais, iniciam-se logo após a colheita, que nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil ocorrem de março até dezembro. Segundo Correia et al. (2010), os herbicidas podem ser aplicados na época mais seca, onde são dirigidos ao solo em pré-emergência, logo após a colheita e em pós emergência da cultura. Contudo, tais produtos devem apresentar alta solubilidade em água e fraca a moderada sorção ao solo, assim mesmo em condições de baixa umidade no solo, parte do produto será dessorvida para a solução, e então estará disponível para absorção das plântulas. Atualmente, no mercado existem novas moléculas capazes de se adaptarem as condições de solo seco, popularmente chamados de herbicidas de seca (CHRISTOFFOLETI, 2008), que devem ter como característica alta solubilidade em água, baixos K_{ow} e K_{oc}, fundamentando-se em aspectos relacionados com sua dinâmica no solo (ALVES, 2010).

Aplicações realizadas em pré-emergência são aquelas realizadas logo após a colheita ou plantio da cultura de cana-de-açúcar. As condições ideais recomendadas para esse tipo de aplicação prescrevem que o solo deve apresentar teor de umidade próximo a capacidade de água disponível para as plantas, e ainda, a superfície do solo não apresente torrões, o que atrapalharia a distribuição adequada do herbicida na região onde há maior concentração de sementes de plantas daninhas (banco de sementes). Os principais herbicidas pré-emergentes com registro são: alachlor, ametryn, amicarbazone, atrazine, clomazone, 2,4-D, diuron, flazasulfuron, hexazinone, imazapic, imazapyr, isoxaflutole, metribuzin, oxyfluorfen, pendimethalin, s-metolachlor, sulfentrazone, tebuthiuron, trifloxysulfuron-sodium e trifluralin (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Em virtude do atraso das operações de cultivo de soqueiras de cana-de-açúcar, da extensão das áreas, impossibilitando a aplicação de herbicidas na pré-emergência da cultura e das plantas daninhas, o controle químico pode ser realizado em pós-emergência inicial ou tardia. Nesse caso, a seletividade dos herbicidas torna-se um fator de extrema importância, porque as injúrias podem ser ainda mais severas (AZANIA et al., 2005). Os herbicidas com registro e comumente utilizados nesta condição de pós-emergência são: ametryn, 2,4-D, diuron, hexazinone, metribuzin, MSMA, tebuthiuron.

Um outro fator relevante para a escolha do herbicida a ser aplicado em canaviais é o conhecimento do mecanismo de ação. O mecanismo de ação é considerado a principal reação metabólica ou processo fisiológico das plantas onde o produto age. Normalmente, é o primeiro de uma sequência de eventos metabólicos que resultam na expressão final do herbicida sobre a planta. O entendimento dessa questão também auxilia na prevenção da ocorrência de resistência de plantas daninhas a herbicidas (CHRISTOFFOLETI, 2008).

2.2 Seletividade de herbicidas na cana-de-açúcar

Para garantir o sucesso do controle químico das plantas daninhas na produção agrícola, o herbicida deve ser seletivo. A seletividade pode ser definida como a medida da resposta diferencial das espécies de plantas à aplicação de uma determinada molécula (OLIVEIRA JÚNIOR, 2001). Dessa forma o estudo do comportamento do herbicida, em aplicações de herbicidas em pré ou pós-emergência na cultura de cana-de-açúcar, é de grande valia.

Constantin (2001) explica que um herbicida seletivo é aquele que é mais tóxico para algumas plantas do que para outras, tendo em vista uma faixa específica de doses, métodos de aplicação e condições ambientais antes e após a aplicação. A recomendação de um herbicida está condicionada à sua seletividade, tanto para a cana-de-açúcar como para qualquer outra espécie cultivada, ou seja, deve possuir a capacidade de eliminar espécies vegetais indesejáveis sem promover reduções economicamente significativas, bem como na qualidade e na quantidade produzida pela cultura (VELINI et al., 2000).

Com relação aos fatores que determinam a seletividade de um herbicida, o posicionamento físico é uma das formas para o manejo de plantas daninhas nas

diversas culturas. Esse fator refere-se a qualquer coisa que resulte na separação espacial entre tecidos sensíveis da cultura e doses tóxicas dos herbicidas. A seletividade desejada é atingida quando uma concentração tóxica do herbicida fica em contato com as plantas daninhas, mas evita-se tais concentrações para as culturas (OLIVEIRA JUNIOR; INOUE, 2011).

Segundo os mesmos autores citados acima, a seletividade de aplicação de herbicidas em pós-emergência, quando não se tem algum mecanismo de seletividade deste produto a tal cultura, é usada a aplicação em jato dirigido, evitando o contato do herbicida com a cultura sensível ao produto, e ao mesmo tempo possibilita o contato com as plantas daninhas alvo. Para se alcançar esse isolamento com segurança no momento da aplicação, geralmente os implementos de aplicação estão munidos de alguns equipamentos de proteção acoplados a barra de pulverização (OLIVEIRA JUNIOR; INOUE, 2011).

A seletividade está relacionada também à tolerância diferencial, sendo um fator característico para cada interação entre determinado herbicida, planta daninha, cultura e condições edafoclimáticas. Na ausência da separação física da aplicação do herbicida, a seletividade pode ocorrer devido à atuação diferencial de um herbicida nas plantas, o que acontece basicamente porque estas diferem quanto a fatores relacionados à absorção, translocação e metabolismo do herbicida em questão, ou em relação ao manejo ou ao método de aplicação do mesmo. Outros avanços recentes relacionam-se à inclusão de substâncias químicas protetoras na formulação de alguns herbicidas, bem como no desenvolvimento de plantas tolerantes a herbicidas

Diferentes cultivares de cana-de-açúcar tem apresentado respostas diferenciadas a aplicações de herbicidas, resultando em frequentes problemas de fitotoxicidade, podendo acarretar na redução na produtividade do canavial (FERREIRA et al., 2005). Rolim e Christoffoleti (1982) relataram que as diversas variedades de cana-de-açúcar possuem características morfológicas e fisiológicas diferenciais, sendo provável que aconteçam alterações de comportamento quanto a sua tolerância a herbicidas específicos. O comportamento diferenciado de genótipos de cana-de-açúcar diante de diversos herbicidas presentes no mercado, associado à, por exemplo, o estágio de desenvolvimento da cultura, tem sido fator importante na tolerância de cultivares a herbicidas (VELINI et al., 2000).

Um herbicida para ser recomendado de forma definitiva para uma determinada cultura, deve apresentar em testes, seletividade aos cultivares mais comuns desta. Entretanto, com a velocidade que são lançadas novas variedades de cana-de-açúcar, esse trabalho de avaliação da sensibilidade da cultura, tanto para herbicidas novos, quanto para os já existentes, deveria ocorrer constantemente, suportando atualizações no manejo químico de plantas daninhas.

Em estudos de seletividade realizados por Azania (2006), em época de estiagem, aplicando-se, isoxaflutole, metribuzin e diuron + hexazinone em pós-emergência inicial e tardia constatou-se que em pós-emergência inicial todos os herbicidas apresentaram fitotoxicidade as plantas da cv. RB835089 até os 45 DAA. No mesmo período, em aplicação dos produtos em pós-emergência tardia os sintomas foram ainda intensificados. Os tratamentos que resultaram em redução da produtividade em pós-emergência tardia foram diuron + hexazinone, e isoxaflutole.

Souza (2009), testando a tolerância das cultivares IACSP94-2094, IACSP94-2101, IACSP93-3046, IACSP94-4004, RB72454 e a IAC86-2480, aos herbicidas diuron+hexazinone, diuron+hexazinone, metribuzin, tebutiuron e amicarbazone aplicados em pós-emergência, observou pequeno prejuízo ao sistema fotossintético na fase inicial, quando avaliado pela eficiência fotoquímica máxima do FS II (Fv/Fm), mas que não é suficiente para prejudicar altura, estande, produção e qualidade tecnológica das diferentes cultivares de cana-de-açúcar estudadas.

Através de experimento conduzido em condições controladas, Soares (2011) observou a seletividade de herbicidas de diferentes mecanismos de ação (ametryn, amicarbazone, tebuthiuron, isoxaflutole, clomazone, sulfentrazone, ametryn+trifloxysulfuron-sodium, ametryn+clomazone e diuron+hexazinone) nas cultivares IAC91-5155, IACSP93-3046, IACSP94-2094. Para todas as cultivares, os herbicidas amicarbazone, isoxaflutole e sulfentrazone causaram sintomas de intoxicação superiores a 50%. Os demais tratamentos obtiveram valores inferiores até os 33 DAA, recuperando-se totalmente aos 70 DAA. A intensidade da intoxicação foi suficiente para reduzir a altura, a massa seca da parte aérea e da raiz, bem como o volume da raiz em todos os tratamentos, particularmente amicarbazone, isoxaflutole e sulfentrazone.

Dessa forma com a utilização do método químico, para o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, há necessidade de avaliar melhor a

tolerância de genótipos aos herbicidas, uma vez que cada cultivar pode variar com o produto usado, sua dose, época de aplicação etc. (CARVALHO et al., 2009). De acordo com Ferreira et al. (2010), a caracterização primária da tolerância de variedades de cana-de-açúcar a herbicidas é de extrema importância para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético focados em variedades com menor fitotoxicidade.

2.3 Diuron, hexazinone, sulfurom-methyl e suas propriedades

Dentre os herbicidas de seca está o diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl, de nome comercial Front®. Essa associação tem ingredientes ativos pertencentes, respectivamente, ao grupo das ureias, triazinonas e sulfoniluréias, sendo que os dois primeiros são inibidores do fotossistema II, e o último inibidor da síntese de ALS. Quando ocorre fitotoxicidade à cultura, os sintomas iniciais do Front® (diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl) são caracterizados por leve clorose ou amarelecimento nas folhas dos 15 aos 45 DAA, decorrentes da ação dos herbicidas inibidores do fotossistema II (diuron + hexazinone). Entre 7 e 10 DAA, pode-se notar o efeito do sulfometuron-methyl na paralisação do crescimento, arroxamento foliar ou a clorose internerval (AZANIA et al., 2006). Quanto a suas características físico-químicas, cada ingrediente ativo que compõem o produto comercial possui diferente solubilidade e persistência (sorção) no solo, o que lhe confere a possibilidade de aplicações em épocas de pouca umidade (diuron: $S_{H_2O} = 42$ e $Kow = 589$; hexazinone: $S_{H_2O} = 33000$ e $Kow = 11,6$; sulfometuron-methyl: $S_{H_2O} = 244$ e $Kow = 0,35$).

Discorrendo especificamente sobre cada ingrediente ativo, o diuron [N-(3,4-dichlorophenyl)-N, N-dimethylurea] é de uso comum em cana-de-açúcar por conta da sua relativa atividade residual longa, no solo. Este apresenta amplo espectro de ação, e é registrado para o controle de monocotiledôneas e dicotiledôneas, aplicado em pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas. O diuron pertence ao grupo químico das ureias substituídas e atua como inibidor da fotossíntese no fotossistema II, apresentando baixa solubilidade em água 42mg L^{-1} a 25°C , pKa (coeficiente de dissociação) igual a zero, considerado não dissociável e Kow (coeficiente de partição octanol água) de 589 e Koc (coeficiente de sorção normalizado para carbono

orgânico) médio de 480 mL g^{-1} (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). A maioria dos herbicidas derivados desse grupo químico apresenta elevada persistência no ambiente (HAGER; NORDBY, 2004). A presença do diuron no solo até 267 dias após a aplicação, em condições de campo, foi verificada por Stork et al. (2008).

Hexazinone[3-Cyclohexyl-6-dimethylamino-1-methyl-1,3,5-triazine-2,4(1H,3H)-dione] é um herbicida recomendado tanto para aplicações em pré como pós emergência das plantas daninhas, faz parte da classe das triazinonas, agindo como inibidor da fotossíntese no fotossistema II. Apresenta alta solubilidade em água 33.000 mg L^{-1} a 20°C , pKa (coeficiente de dissociação) igual a 2,2, considerado uma base fraca e Kow (coeficiente de partição octanol água) de 11 e Koc (coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico) médio de 54 mL g^{-1} , sendo considerado pouco móvel.

Por fim, o ingrediente ativo sulfometuron-methyl, em formulação sozinho, é registrado para fins de maturador em cana-de-açúcar no Brasil, pertencendo a classe das sulfoniluréias, e atuando como inibidor da acetolactato-sintase (ALS) (HRAC, 2011). Possui como características baixa solubilidade em água 70 mg L^{-1} a 20°C , pKa (coeficiente de dissociação) igual a 5,2, considerado um ácido fraco e Koc (coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico) médio de 85 mL g^{-1} , sendo considerado moderadamente móvel.

De uso bastante antigo na cultura, a mistura de diuron + hexazinone, especialmente na marca comercial Velpar K[®], vem sendo utilizada desde meados dos anos 80. Os ingredientes ativos de diuron + hexazinone são comercializados como mistura pronta, conhecida pelos herbicidas Velpar K GRDA[®] e Advance[®], na formulação de grânulos autodispersíveis em água. Estes herbicidas são compostos por 468 g kg de diuron + 132 g kg^{-1} de hexazinone e 533 g kg^{-1} de diuron + 67 g kg^{-1} de hexazinone, respectivamente. Indicado especificamente para uso na cultura da cana-de-açúcar, no controle de plantas daninhas de folhas largas anuais e gramíneas em pré ou pós-emergência, no momento da aplicação, nas áreas em que a cultura esteja bastante desenvolvida, recomenda-se aplicar o produto em jato dirigido sobre as plantas daninhas.

2.4 Mecanismo de ação de herbicidas inibidores do Fotossistema II

Diversos grupos de herbicidas que inibem o fluxo de elétron no FS II possuem registro no Brasil, como por exemplo os pertencentes ao grupo das triazinas (atrazina e ametrina), das triazinonas (hexazinone e metribuzin), das triazolinonas (amicarbazone), e das uréias (diuron, tebuthiuron) (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Cerca de 40% das áreas de cana-de-açúcar em 2009 foram tratadas com herbicidas pertencentes a este mecanismo de ação (FRANCONERE, 2010).

Em condições sem a interferência de inibidores fotossintéticos, durante a fase luminosa da fotossíntese, a energia luminosa capturada pelos pigmentos presentes nos cloroplastos é transferida para um “centro de reação” especial (P680), produzindo um elétron “excitado”. O elétron excitado é transferido para uma molécula de plastoquinona presa a uma membrana do cloroplasto, chamada Qa. A molécula da plastoquinona “Qa” encaminha o elétron, por sua vez, para uma outra molécula de plastoquinona, chamada “Qb”, também presa na proteína. No momento que um segundo elétron é transferido para a plastoquinona “Qb”, a quinona reduzida torna-se protonada (dois íons de hidrogênio são adicionados), gerando uma plastoidroquinona (QbH), com baixa afinidade para se prender na proteína. Em outras palavras, a função da plastoidroquinona é transferir elétrons entre os fotossistemas II (P680) e fotossistema I (P700).

Inúmeros herbicidas inibidores do fotossistema II se ligam à proteína D-1 no sítio onde se prende a plastoquinona “Qb”. Tais herbicidas irão competir com a plastoquinona “Qb” parcialmente reduzida (QbH) pelo sítio na proteína D-1, ocasionando a saída da plastoquinona e interrompendo o fluxo de elétrons entre os fotossistemas. A morte das plantas ocorre pela falta de carboidratos, em decorrência da inibição da reação luminosa da fotossíntese, e além disso, pela oxidação da clorofila, acarretando a clorose foliar e rompimentos na membrana citoplasmática celular como consequência da peroxidação de lipídios, causada pela ação dos radicais tóxicos.

Apesar de dos herbicidas inibidores do FS II competirem com as plastoquinonas para a ligação no sítio QB, cada um pode apresentar sua orientação específica dentro do sítio de ligação, podendo se ligar de forma diferente na proteína D-1 (PEREZ-JONES et al., 2009), pois o elemento essencial de um grupo de herbicida pode não se ligar ao mesmo aminoácido, como o de outro grupo.

2.5 Mecanismo de ação de herbicidas inibidores a ALS

De uso comum e intensivo, os herbicidas inibidores da ALS destacam-se em função da alta eficiência aplicando doses muito baixas, com uma baixa toxicidade para mamíferos e boa seletividade para vários cultivos de grande expressividade econômica. A maior parte das moléculas lançadas nos últimos anos ou em fase de desenvolvimento pertencem a esse mecanismo de ação.

Os grupos de herbicidas que correspondem a este mecanismo são: sulfoniluréias (chlorimuron, halosulfuron, metsulfuron, nicosulfuron etc.) e imidazolinonas (imazapyr, imazapic, imazaquin, imazethapyr, imazamox etc.). Além das sulfoniluréias e das imidazolinonas, outros herbicidas, de grupos químicos diferentes, como as triazolopirimidinas (diclosulan e flumetsulan) e os piridiniltiobenzoatos (pyrithiobac e outros) inibem a enzima ALS ou AAHS.

Atuam na inibição da síntese de aminoácidos de cadeia ramificada, por meio da inibição da enzima acetolactato sintase, paralisando a síntese protéica, que por sua vez, interfere na síntese do DNA e no crescimento celular. Em plantas susceptíveis, ocorre a paralisação do crescimento e surgimento de clorose internerval e/ou arroxamento foliar, entorno de 7 a 10 dias após a aplicação do herbicida. Pode também ocorrer inibição do crescimento de raízes laterais quando resíduos do produto estão presentes no solo. Geralmente, nas folhas largas, o meristema apical necrosa e morre antes que as demais partes mais velhas da planta (OLIVEIRA JR., 2001).

A enzima ALS em conjunto com outras três enzimas, são atuam em duas rotas metabólicas comuns, as quais ocorrem em plastídeos de tecidos jovens de plantas e produzem os três aminoácidos. Na rota que produz valina e leucina, a ALS cataliza a reação de duas moléculas de piruvato para formar acetolactato, o precursor destes aminoácidos. A enzima também tem a capacidade de catalizar a reação entre piruvato e cetobutirato, para produzir acetohidroxibutirato, o precursor de isoleucina. A enzima ALS requer FAD, tiamina pirofosfato (TPP) e Mg^{+2} ou Mn^{+2} para ser ativada (VIDAL; MEROTTO Jr., 2001).

Ainda existe muitos aspectos a serem melhor esclarecidos a respeito do mecanismo de ação dos herbicidas inibidores da ALS, entretanto alguns pontos são possíveis de serem observados. Como por exemplo, detecta-se uma inibição do crescimento das plantas uma a duas horas após o tratamento com herbicidas, bem

antes de haver efeitos sobre outros processos, como as reações fotossintéticas, respiração aeróbica ou síntese de RNA ou proteínas. Estudos concluíram que o herbicida bloqueia rapidamente o ciclo celular de G_2 para mitose e de G_1 para a síntese de DNA. Embora sem nenhum efeito direto sobre o aparato mitótico, é possível que haja função regulatória sobre o controle da divisão celular (BROWN, 1990; COBB, 1992).

Acredita-se que um possível efeito da inibição da ALS por herbicidas é a acumulação do substrato desta enzima, o cetobutirato. No entanto, não está claro ainda se o cetobutirato desempenha alguma função significativa no modo de ação destes herbicidas em plantas. Além disso, o ácido cetoisovelérico, intermediário da rota de produção de valina e leucina, é precursor de coenzima A (CoA), necessária para a síntese de acetil-CoA, importante intermediário de muitas rotas metabólicas nos vegetais, especialmente da síntese de lipídeos e terpenos (BROWN, 1990; DEVINE et al., 1993).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seletividade dos herbicidas diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl e amicarbazone, em diferentes estádios fenológicos da cultura de cana-de-açúcar

O experimento foi conduzido na Fazenda Caiapia, pertencente à empresa Raízen Energia S.A., unidade Costa Pinto, próximo ao bairro Santa Olímpia (22° 36' 39.31" S, e 47° 43'31.51" O), em canavial de segundo corte, onde a variedade presente é a CTC 15. O solo apresenta textura média, e ambiente de produção C, conforme levantamento da empresa. A adubação foi realizada conforme análise de solo, onde as propriedades químicas do solo encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades químicas do solo da Fazenda Caiapia, Piracicaba, SP

Profundidade	pH	MO	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(cm)	KCl	g/kg	m.kg ⁻¹		Mmolc.kg ⁻¹				%
0-20	5,3	14	4	0,9	6	5	17	32	53,1
20-40	5,0	11	2	0,6	3	3	15,5	29,2	52,1

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições por tratamento. As parcelas foram compostas por seis linhas de 10 m de comprimento, em espaçamento combinado de 0,90 m x 1,50 m, sendo que para efeito de avaliação considerou-se as quatro linhas centrais, descontando uma linha de bordadura para cada lado. Vale ressaltar, que as capinas em todos os tratamentos tiveram fundamental importância para que a parcela não sofresse possíveis interferências de plantas daninhas, e assim influenciar nos resultados de seletividade.

A aplicação foi realizada em quatro estádios fenológicos diferentes: pré-emergência, e pós-emergência, compreendida pela fase de esporão, 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas, com início logo após a colheita ocorrida em setembro de 2013. Os herbicidas utilizados foram diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl, da marca comercial Front® e amicarbazone, da marca comercial Dinamic®, nas doses de 904,5 g.ha⁻¹ + 255 g.ha⁻¹ + 21,75 g.ha⁻¹ (D+H+SMM) e 1050 g.ha⁻¹, respectivamente.

A aplicação foi realizada com auxílio de um equipamento costal pressurizado com CO₂, mantendo a 2,0 bar de pressão, com seis pontas Teejet TTI 110.02, espaçadas a 0,50 m, com 200 L ha⁻¹. Os dados ambientais correspondentes as datas de aplicação seguem nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Dados provenientes dos dias das aplicações no campo. Piracicaba, SP

Datas das aplicações	Estádio fenológico da cultura	Temperatura °C	Umidade %	Nebulosidade %	Velocidade do vento m/s
06/09/2013	Pré-emergência	26,0	56,0	20,0	2,0
16/09/2013	Esporão	27,0	55,2	25,0	2,7
07/10/2013	2 a 3 folhas	25,0	50,0	30,0	7,0
20/11/2013	5 a 6 folhas	27,0	48,0	20,0	3,0

Tabela 3 - Dados climatológicos do período de condução do ensaio, da região de Piracicaba, SP

Ano	Mês	Precipitação	Temperatura Máx	Temperatura Min	Temperatura Média
		mm	° C	° C	° C
2013	SET	35,5	29,3	14,3	21,8
2013	OUT	153,6	29,9	16,8	23,3
2013	NOV	109,9	30,5	18,6	24,6
2013	DEZ	121,0	32,5	20,2	26,4
2014	JAN	83,3	33,4	20,2	26,8
2014	FEV	62,4	33,7	20,5	27,1
2014	MAR	108,8	31,4	19,3	25,4
2014	ABR	54,0	29,2	17,2	23,2
2014	MAI	39,8	26,9	13,6	20,2
2014	JUN	1,4	26,9	12,8	19,8

Fonte: Dados Meteorológicos da Estação Automática de Piracicaba, SP

Os parâmetros avaliados foram sintomas de fitotoxicidade, altura de plantas, perfilhamento, produtividade em toneladas por hectare e parâmetros tecnológicos, pol, brix e fibra.

As avaliações de fitotoxicidade às plantas de cana-de-açúcar foram realizadas aos 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a aplicação (DAA), atribuindo-se notas visuais em percentual, no qual 0% representa ausência de toxicidade ou injúria à cultura, sendo 100% para a morte das plantas de cana-de-açúcar.

A avaliação de falhas para dedução na estimativa de produtividade, ocorreu aos 30 e 90 DAA, e obedeceu a metodologia proposta por Stolf (1986), onde conta-se e computa-se a somatória das falhas maiores que 0,5 m, num trecho de linha. Para facilitar a avaliação utiliza-se de um gabarito de 0,5 m, para confirmar se as falhas são maiores do que esse valor, e então se estica a trena a partir do zero, e consecutivamente em cada falha encontrada, de forma que no final o valor lido é a somatória das falhas. A porcentagem de falha é dada pela seguinte forma, form. (1):

$$F\% = \frac{\text{Comprimento total das falhas}}{\text{Comprimento total da linha}} \times 100 \quad (1)$$

A medição de altura foi realizada aos 30, 90 e 150 DAA, identificando dez plantas por parcela, e medindo seu tamanho do solo até o ápice da primeira folha completamente desenvolvida (+1). No momento da última avaliação de altura, aos 150 DAA foram feitas contagens para se determinar o perfilhamento nas duas linhas centrais de cada tratamento, nos dez metros de comprimento da parcela, obtendo assim o número de perfilhos ou colmos viáveis por metro linear.

Na ocasião da colheita, aos 300 DAA, foram colhidas as duas linhas centrais de cada parcela. Os pesos obtidos de cada amostra, foram utilizados para cálculo da estimativa de produtividade em toneladas por hectare, multiplicando o peso pelo número de perfilho por metro. Com isso calcula-se a produtividade descontando a porcentagem de falhas, segundo metodologia descrita anteriormente.

No momento da colheita, também foram retiradas amostras de colmo de cana-de-açúcar, para serem levadas ao laboratório e obter os valores de sólidos solúveis totais (Brix), a porcentagem em massa de sacarose aparente (Pol) e fibra, seguindo as recomendações do Conselho de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo - Consecana (2006).

Os resultados foram submetidos a análise da variância com aplicação do teste F, e os resultados foram comparados usando o teste de Tukey a 5%. Para os dados de fitotoxicidade a transformação seguiu a seguinte forma, eq. (2):

$$\sqrt{(y+0,5)/100} \quad (2)$$

3.2 Tolerância de diferentes variedades de cana-de-açúcar ao herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl

O experimento foi conduzido em condições semi-controladas de casa de vegetação, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, localizada no município de Piracicaba-SP (22° 43' 30" Sul, 47° 38' 51" Oeste).

Foram selecionadas 4 variedades de cana-de-açúcar: RB86-7515, RB85-5536, RB92-579 e CTC15, em vasos de polietileno com capacidade de 5 litros, completados com solo da camada arável, o qual foi corrigido o pH e adubado segundo análise de solo, a partir dos resultados das propriedades químicas que constam na Tabela 4. Os colmos foram cortados em mini toletes, e plantados há 15 cm de profundidade.

Tabela 4 - Propriedades químicas do solo usado no ensaio, Piracicaba, SP

Profundidade	pH	MO	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(cm)	KCl	g/kg	m.kg ⁻¹		Mmolc.kg ⁻¹				%
0-20	5,0	20	1	3,2	27	11	41,3	63,4	65
20-40	5,1	24	2	4,3	32	14	50,5	81,5	62

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pela variedade de cana-de-açúcar (RB86-7515, RB85- 5536, RB92-579 e CTC15) e quatro épocas de aplicação diferentes (pré-emergência, e pós-emergência, compreendida pela fase de esporão, 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas).

O herbicida utilizado foi o diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl, na dose de 904,5 g.ha⁻¹ + 255 g.ha⁻¹ + 21,75 g.ha⁻¹ (D+H+SMM). As pulverizações foram realizadas em câmara de aplicação fechada, pressurizada por ar comprimido,

utilizando-se uma ponta do tipo leque (Teejet 80.02), distanciada em 0,50 m da superfície do alvo e com volume relativo de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

Os parâmetros avaliados foram sintomas de fitotoxicidade, altura, e ao final do ensaio massa seca da parte aérea. As avaliações foram feitas 7, 14, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação. Para a avaliação de fitotoxicidade seguiu-se a metodologia proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas – SBCP (1995), atribuindo-se notas visuais em percentual, no qual 0% representa ausência de toxicidade ou injúria à cultura, sendo 100% para a morte das plantas de cana-de-açúcar.

Com relação ao parâmetro altura, as plantas foram medidas do solo até a última folha completamente expandida (folha +1). E para a avaliação final de massa seca, foram cortadas as plantas rentes ao solo, colocadas em sacos de papel, e então levadas para estufa de circulação forçada de ar a 70°C, durante quatro dias. Na sequência essas amostras foram encaminhadas para pesagem.

Para efeito de comparações, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para os dados de fitotoxicidade a transformação seguiu a seguinte forma, eq. (2):

$$\sqrt{(y + 0,5)/100} \quad (2)$$

3.3 Absorção e translocação de ¹⁴C- sufometurom-methyl em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar

As plantas utilizadas neste estudo foram cultivadas em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, localizada no município de Piracicaba-SP (22° 43’ 30” Sul, 47° 38’ 51” Oeste). E as análises laboratoriais realizadas no Laboratório de Ecotoxicologia – CENA/USP, Piracicaba, SP.

Minitoletes da variedade CTC 15, cortados com dois centímetros de cada lado da gema, e foram plantados em vasos de polietileno com capacidade de 5 litros, completados com solo da camada arável, o qual foi corrigido o pH e adubado segundo análise de solo, conforme propriedades químicas do solo (Tabela 5).

Tabela 5 - Propriedades químicas do solo usado no ensaio, Piracicaba, SP

Profundidade (cm)	pH KCl	MO g/kg	P m.kg ⁻¹	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %
0-20	5,0	20	1	3,2	27	11	41,3	63,4	65
20-40	5,1	24	2	4,3	32	14	50,5	81,5	62

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, com três repetições. Utilizou-se a dose de 21,75 g.ha⁻¹ de sulfometuron-methyl, com cinco tempos de avaliação (3, 9, 24, 48 e 72 horas após o tratamento – HAT). A aplicação ocorreu em dois diferentes estádios de desenvolvimento da cultura: duas a três e cinco a seis folhas completamente expandidas.

A solução de herbicida radiomarcado foi preparada através da diluição do ¹⁴C-sulfometuron-methyl com a solução comercial do herbicida Front[®], para que a aplicação em laboratório se aproxime da aplicação realizada na prática em campo. O ¹⁴C-sulfometuron-methyl apresentava atividade específica de 30,5 µCi.mg⁻¹ e pureza de 98%.

Em cada planta aplicou-se 30 gotas de 1 µL de solução contendo a molécula radiomarcada, na segunda folha contada da base para cima. Para realizar essa aplicação utilizou-se um microaplicador (Hamilton PB6000 Dispenser, Hamilton Co. EUA). As plantas foram acondicionadas em local apropriado, recebendo irrigação caso o solo se apresentasse seco.

As folhas tratadas foram lavadas com solução de metanol 80%, 8 mL para plantas de duas a três folhas, e 10 mL para plantas de cinco a seis folhas, a fim de eliminar o herbicida não absorvido. O líquido proveniente dessa lavagem foi associado com líquido de cintilação, sendo levados para medição por espectrometria de cintilação líquida (Packard 1900 TR).

Após cada período após a aplicação, as plantas foram retiradas dos vasos e fracionadas em diferentes partes (raiz, tolete, parte aérea e folha tratada), os quais foram secos separadamente por 72 horas a 60°C, em estufa de ventilação forçada. Cada seguimento foi fracionado em pequenos pedaços, para se retirar amostras de 0,2 g, que na sequência foram submetidas a combustão através de um oxidador biológico (OX 600 Harvey Instruments). A radioatividade foi quantificada por espectrometria de cintilação líquida. A porcentagem de radioatividade no interior da planta determinará a absorção pelas folhas.

Uma repetição de cada período citado anteriormente, antes de ser fracionada e levada para o oxidador, foi disposta em folha de papel de seda, de maneira que ficassem planas, para então serem prensadas e encaminhadas ao radio scanner (Packard-Cyclone), onde se obtém a imagem da concentração do ^{14}C -sulfometuron-methyl.

Para descrever o padrão de absorção e translocação do herbicida, regressões lineares e não lineares foram ajustadas para absorção e translocação em diferentes partes das plantas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Seletividade dos herbicidas diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl e amicarbazone, em diferentes estádios fenológicos da cultura de cana-de-açúcar

Em virtude dos herbicidas empregados, e principalmente, à aplicação em diferentes etapas do desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, os tratamentos proporcionaram níveis contratantes de fitotoxicidade.

Os resultados analisados foram certamente influenciados pela época de aplicação dos herbicidas, uma vez que setembro ocorre a retomada do período das chuvas e aumento gradativo da pluviosidade, como se pode constatar na Tabela 3 (item 3.1). Tanto diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl, como o amicarbazone são considerados de época seca, por suas características de alta solubilidade, por isso a ocorrência de chuva possibilitou a maior solubilização, e decorrente maior absorção pelas raízes.

Na Tabela 5 observa-se que nas quatro épocas de aplicação (pré-emergência, esporão, 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas), dos dois herbicidas utilizados, os sintomas de fitotoxicidade foram significativamente maiores quando comparados a testemunha. O comportamento se repetiu durante todo o período de avaliação (15 a 150 DAA).

Na fase de pré-emergência, onde os herbicidas foram aplicados dois dias após a colheita, diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl apresentou fitotoxicidade menor quando comparado ao amicarbazone, no período que vai de 15 a 60 DAA. As porcentagens de fitotoxicidade causada por D+H+SM variou de 0 a 15%, enquanto que para amicarbazone essa faixa ficou entre 2,5 a 8,75%. Aos 90 DAA os dois herbicidas apresentavam o mesmo nível de toxicidade a planta, mas ainda diferindo da testemunha.

Nas fases de esporão e de 2 a três folhas observou-se as maiores proporções de fitotoxicidade, do que nas outras épocas, para os dois herbicidas aplicados. A porcentagem de fitotoxicidade mostrou-se menor aos 15 e 150 DAA, enquanto que no período intermediário (30 a 90 DAA) os valores foram maiores, atingindo um pico aos 90 DAA, 57,5% para D+H+SM e 31,25% para amicarbazone. Segundo Rochecoste (1967), na fase de esporão a planta é tolerante aos herbicidas foliares

de contato e de translocação, pois não consegue atingir as folhas mais internas, que são protegidas por folhas aciculadas; entretanto, por se tratar de uma soqueira de segundo corte a área utilizada nesse trabalho, a brotação do esporão é acompanhada de uma ligeira abertura de folhas, como pode se ver na Figura 1. Em contrapartida, na fase de 2 a 3 folhas, onde este órgão oferece mínima resistência a penetração dos herbicidas uma vez que a cutícula ainda é fina, a planta se mostra muito sensível aos herbicidas foliares, indo ao encontro dos resultados observados para esse estágio de desenvolvimento.

Tabela 5 – Avaliações de fitotoxicidade de cana-de-açúcar em porcentagem média, para a variedade CTC15, em função das épocas de aplicação e herbicidas aplicados. Piracicaba, SP

Estádio de desenvolvimento	Herbicidas		Testemunha
	D+H+SM	Amicarbazone	
15 DAA			
Pré-emergência	0 bB	2,5 aC	0 aA
Esporão	33,50 aA	12,50 aB	0 bA
2 a 3 folhas	31,25 aA	25,00 bA	0 cA
5 a 6 folhas	11,25 bB	16,25 aB	0 cA
30 DAA			
Pré-emergência	15,00 bB	8,25 aB	0 cA
Esporão	72,50 aA	20,00 bA	0 cA
2 a 3 folhas	61,25 aA	31,25 bA	0 cA
5 a 6 folhas	20,00 aB	13,25 aB	0 bA
60 DAA			
Pré-emergência	11,25 bC	7,50 aC	0 cA
Esporão	56,25 aA	15,00 bB	0 cA
2 a 3 folhas	45,00 aA	22,50 bA	0 cA
5 a 6 folhas	22,50 aB	21,25 aA	0 bA
90 DAA			
Pré-emergência	7,50 aC	8,75 aB	0 bA
Esporão	57,50 aA	15,00 bA	0 cA
2 a 3 folhas	40,00 aA	15,00 bA	0 cA
5 a 6 folhas	18,75 aB	18,75 aA	0 cA
150 DAA			
Pré-emergência	5,00 aC	8,75 aB	0 bA
Esporão	20,00 aA	13,75 aB	0 bA
2 a 3 folhas	18,75 bA	11,25 bB	0 cA
5 a 6 folhas	10,50 aB	17,50 bA	0 cA

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha ou mesma letra maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 1 - Detalhe das plantas de cana-de-açúcar no momento da aplicação dos herbicidas diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl em esporão. Piracicaba, SP.

Em aplicação de amicarbazone, em pós-emergência inicial da cana-de-açúcar, quando as plantas estavam entorno de 15 cm de altura, Soares (2011) observou que mesmo aos 30 DAA os sintomas de fitotoxicidade estavam presentes, e alcançaram o patamar 70%.

Na fase de 5 a 6 folhas, onde as plantas apresentavam uma área foliar considerável, e porte entorno de 1,0 m, os sintomas de fitotoxicidade foram semelhantes aos observados na fase de esporão, entretanto, diferiu dos estádios de esporão e 2 a 3 folhas. Provavelmente, a pluviosidade que ocorreu no mês de novembro (109 mm), como registrado na tabela 3, que corresponde a época de aplicação do tratamento 5 a 6 folhas, influenciou na dinâmica dos herbicidas. Como consequência do excesso hídrico, boa parte dos produtos ficou disponível para solução do solo e passível de ser arrastado por lixiviação, gerando fitotoxicidade no valor máximo de 22,25 e 21,5 %, para D+H+SM e amicarbazone, respectivamente.

Na literatura não constam trabalhos a respeito na fitotoxicidade do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl, e poucos a respeito de amicarbazone, todavia, alguns autores descrevem sobre a seletividade da associação de diuron+hexazinone. Azania (2005), em aplicação na pós-emergência inicial da soqueira os sintomas foram mais severos no início (15 DAA) e praticamente inexistentes aos 60 DAA, apresentando uma ordem decrescente de fitotoxicidade ao

longo do tempo. O mesmo autor, avaliando aplicação em pós-emergência tardia do amicarbazone, constatou que aos 15 DAA a intoxicação foi mais severa do que na pós-emergência inicial, porém aos 60 DAA todos os sintomas desapareceram.

No parâmetro produtividade (Tabela 6), observou-se que os tratamentos com os dois herbicidas não promoveram diferenças significativas de produtividades quando comparados a testemunha, onde apenas realizou-se capina manual, nos estádios de aplicação avaliados.

De maneira contrária ao encontrado neste trabalho, Carvalho et al. (2010) não observou sintomas visuais de fitotoxicidade pela aplicação de ametrina (inibidor do FS II), porém os dados de colheita expressaram a fitotoxicidade causada pelo herbicida quando aplicado na cultura com três a quatro folhas expandidas, pela redução da produtividade de 13,07% em relação a testemunha. Na figura 2, encontram-se imagens com os sintomas visuais encontrados para os herbicidas diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl e amicarbazone neste ensaio.

Figura 2 - Detalhe dos sintomas observados nas plantas tratadas com diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl a esquerda, e a direita, sintomas de intoxicação em plantas tratadas com amicarbazone. Piracicaba, SP

Tabela 6 – Resultados de produtividade de cana-de-açúcar, variedade CTC15, em função das épocas de aplicação do herbicida sulfometuron-methyl. Piracicaba, SP

Herbicida	Estádio de desenvolvimento	Produtividade t.ha ⁻¹
	Testemunha	132,95
D+H+SM	Pré-emergência	96,95
	Esporão	90,92
	2 a 3 folhas	98,96
	5 a 6 folhas	91,06
Amicarbazone	Pré-emergência	98,19
	Esporão	100,14
	2 a 3 folhas	105,14
	5 a 6 folhas	92,01
	Média Geral	100,70
Valores de F	Blocos	0,72 ^{NS(1)}
	Estádio de desenvolvimento	2,38 ^{NS}
	Herbicidas	0,24 ^{NS}
	Estádio x Herbicida	0,40 ^{NS}
	C.V. (%) ⁽²⁾	13,5

⁽¹⁾: não significativo (P<0,05); ⁽²⁾: coeficiente de variação

Os resultados se assemelham aos verificados por Velini et al. (2000), onde avaliou-se a seletividade do herbicida inibidor do FS II ametrina e outros, em pré e pós emergência de dez cultivares de cana-de-açúcar, observou que as produtividades das cultivares estudadas não foram afetadas. Barela e Christoffoleti (2006) também não encontraram diferenças de produtividade quando aplicado os herbicidas tebuthiuron e diuron + hexazinone, e suas interações com nematicidas, na cultivar RB86-7515.

Todavia, Obara (2014), aplicando hexazinone de forma isolada, relatou que nas parcelas tratadas com hexazinone (225 g.ha⁻¹) notou-se menor valor médio de produtividade em comparação com a testemunha capinada, tanto em pré-emergência, pós-emergência inicial e pós-emergência tardia. A média de redução de produtividade ficou entorno de 10 t.ha⁻¹.

Gráfico 1 - Produtividade nos tratamentos com diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl e amicarbazone, comparado com a testemunha, na variedade CTC15. 1. Pré-emergência, 2. Esporão, 3. Estádio de 2 a 3 folhas, 4. Estádio de 5 a 6 folhas e Test. Piracicaba, SP

Constatou-se que os tratamentos nos quatro estádios de desenvolvimento, onde as aplicações dos herbicidas foram realizadas, não influenciaram na qualidade dos parâmetros tecnológicos Pol, Brix, Fibra e ATR, como descrito na Tabela 7. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2009), quando avaliou as características tecnológicas de diferentes cultivares submetidas aos herbicidas amicarbazone, tebuthiuron e diuron + hexazinone, concluindo que tanto a produtividade quanto a qualidade tecnológica não foram afetadas pelos herbicidas.

Azania et al. (2005), em aplicação de diversos herbicidas em pós-emergência tardia, dentre eles diuron+hexazinone, verificou que este herbicida foi o único produto que não afetou negativamente as características tecnológicas da matéria-prima final e o rendimento de açúcar, em contrapartida, resultou em considerável redução de produtividade, assim como os outros tratamentos.

Tabela 7 – Resultados de parâmetros da análise tecnológica de cana-de-açúcar, variedade CTC15, em função das épocas de aplicação do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl. Piracicaba, SP

Herbicida	Estádio de desenvolvimento	Pol	Brix %	Fibra	ATR kg.t ⁻¹
D+H+SM	Testemunha	23,62	23,08	12,79	166,18
	Pré-emergência	20,62	23,04	14,04	164,76
	Esporão	21,45	23,68	13,35	173,05
	2 a 3 folhas	20,55	23,00	14,39	163,23
	5 a 6 folhas	20,33	23,00	13,57	164,06
Amicarbazone	Pré-emergência	20,68	23,19	13,74	166,18
	Esporão	20,43	22,94	13,75	164,24
	2 a 3 folhas	20,65	23,02	13,11	167,56
	5 a 6 folhas	20,78	23,01	13,28	167,97
Média geral		21,01	23,11	13,56	166,62
F tratamentos		1,77 ^{NS(1)}	1,22 ^{NS}	1,17 ^{NS}	2,38*
C.V. (%) ⁽²⁾		2,45	1,77	6,64	2,38
D.M.S.		5,12	0,98	2,16	9,55

⁽¹⁾: não significativo (P<0,05); ⁽²⁾: coeficiente de variação

4.2 Tolerância de diferentes variedades de cana-de-açúcar ao herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl

Os resultados referentes à altura de plantas (cm) para as cultivares CTC 15, RB86-7515, RB85-5536 e RB92-579 em função de comparações entre variedades, refletiram a diferença existente na tolerância de cada material avaliado, para cada época de desenvolvimento, onde foi realizado a aplicação do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl (Tabelas 8 a 12).

Diversos autores relataram respostas contrastantes entre cultivares a aplicação de herbicidas, com consequente intoxicação da cultura, alterando características das plantas, como: altura, número de folhas, área foliar e massa da matéria seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar (PROCÓPIO et al., 2003; FERREIRA et al., 2005; BARELA; CHRISTOFFOLETI, 2006; AZANIA et al., 2006).

Na aplicação do herbicida em pré-emergência da cultura (Tabela 8), podemos observar que ocorreram diferenças entre as variedades em cada data de avaliação, porém quando se observa média de plantas tratadas com D+H+SM com relação a testemunha correspondente, não se constata diferença significativa. Em última avaliação aos 90 DAA, a variedade CTC 15 acumulou redução de 22% em sua altura, enquanto que as outras variedades mantiveram a igualdade em altura com suas testemunhas.

Tabela 8 – Altura de plantas de cana-de-açúcar (cm), das variedades CTC15, RB85-7515, RB85-5536 e RB92-579, em função da aplicação em pré-emergência. Piracicaba, SP

Var.	Trat.	Altura de planta					
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA
1	Test.	12,63 a	14,63 a	15,75 a	18,38 a	28,38 ab	42,25 a
	D+H+S	11,50 a	14,50 a	15,50 a	18,25 a	24,38 a	34,63 ab
2	Test.	9,25 ab	7,50 c	14,13 a	14,38 abc	23,38 ab	30,75 b
	D+H+S	6,50 b	8,75 bc	11,38 a	11,40 c	22,63 ab	28,50 b
3	Test.	9,00 ab	12,00 abc	15,13 a	24,75 abc	24,75 ab	30,63 b
	D+H+S	5,75 b	10,75 abc	11,25 a	20,50 c	21,38 b	28,88 b
4	Test.	12,75 a	13,25 ab	13,50 a	28,00 ab	28,38 a	31,38 b
	D+H+S	11,50 a	13,25 ab	12,00 a	20,88 bc	27,00 a	29,63 b
Valores de F	Blocos	1,09 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,96 ^{ns}	0,92 ^{ns}
	Trat.	10,58**	6,52**	3,52*	8,93**	4,34**	7,84**
C.V. (%) ⁽²⁾		16,78	17,29	14,5	12,78	10,64	10,08
D.M.S.		3,92	4,77	4,67	4,51	6,28	7,67

(**) significativo a 1%; (^{ns}): não significativo (P<0,05); ⁽²⁾: coeficiente de variação. Var.: Variedade. Trat.: Tratamentos. 1. CTC15. 2. RB86-7515. 3. RB85-5536. 4. RB92-579. Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Avaliando a aplicação do herbicida em estudo, em fase de esporão da cana-de-açúcar (Tabela 9), verificou-se a partir dos 7 DAA decréscimo significativo do crescimento em altura na variedade RB92-579, e esse comportamento se manteve até a última coleta de dados, aos 90 DAA. Quando se analisa a nível de diferença varietal, as variedades CTC15 e RB92-579 se comportam de maneira semelhante ao longo do período, assim como RB86-7515 e RB85-5536 que também se assemelham. Aos 60 DAA, destaca-se a aceleração da taxa de crescimento em todos os tratamentos quando se compara com a última data de avaliação, entretanto, nos resultados encontrados para plantas tratadas com herbicida das

variedades CTC 15 e RB92-579 neste período, podemos observar que as testemunhas correspondentes tiveram maior desenvolvimento em altura. Dos 30 DAA aos 60 DAA, a testemunha da variedade CTC 15 acumulou 12,18 cm a mais, contra 5,5 cm de crescimento das plantas tratadas com D+H+SM, enquanto que a testemunha da variedade RB92-579 cresceu 9,5 cm, contra 5,63 cm das plantas tratadas com herbicida da mesma variedade.

Segundo Azania (2005), em ensaio testando diversos herbicidas de aplicação em pós-emergência inicial, as plantas aos 45 DAA foram prejudicadas pelo azafenidin+hexazinone e pelo isoxaflutole, ocorrendo, porém, total recuperação aos 60 DAA.

Tabela 9 – Altura de plantas de cana-de-açúcar (cm), das variedades CTC15, RB85-7515, RB85-5536 e RB92-579, em função da aplicação do herbicida em fase de esporão. Piracicaba, SP

Var.	Trat.	Altura de planta					
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA
1	Test.	12,63 ab	14,50 ab	15,75 ab	19,50 a	31,68 ab	39,38 a
	D+H+S	10,38 abc	11,63 bc	11,88 cd	13,13 cd	18,63 a	24,13 bc
2	Test.	9,38 bc	11,75 bc	13,75 bc	15,88 bc	24,73 ab	31,63 ab
	D+H+S	7,75 c	8,38 de	9,38 de	10,25 de	21,63 ab	27,13 bc
3	Test.	9,00 bc	10,75 cd	13,50 bc	15,25 c	24,75 ab	30,63 b
	D+H+S	6,88 c	7,50 e	8,38 e	9,63 e	21,38 b	30,5 b
4	Test.	13,50 a	15,25 a	17,00 a	18,88 ab	28,38 a	31,13 ab
	D+H+S	9,50 bc	10,00 cde	12,00 cd	13,25 cd	18,88 a	21,63 c
Valores de F	Blocos	0,63 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,18 ^{ns}
	Trat.	8,04**	16,64**	21,88**	27,41**	10,99**	8,59**
C.V. (%) ⁽²⁾		16,12	11,81	9,89	9,56	11,58	12,47
D.M.S.		3,77	3,14	2,98	3,28	6,52	8,73

(**) significativo a 1%; (^{ns}): não significativo (P<0,05); (⁽²⁾): coeficiente de variação. Var.: Variedade. Trat.: Tratamentos. 1. CTC15. 2. RB86-7515. 3. RB85-5536. 4. RB92-579. Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Dos 7 aos 60 dias após a aplicação do herbicida, no estágio de desenvolvimento de 2 a 3 folhas completamente expandidas, as variedades apresentaram ligeira diferença de altura, em comparação com suas testemunhas. Essa diferença se pronunciou a partir dos 90 DAA, momento em que as plantas apresentaram maior crescimento, quando se analisa a diferença de uma data de avaliação para a seguinte. Isso pode ser explicado por conta da elevação da

temperatura no período, mesmo sabendo que foram submetidas a condições semi-controladas de ambiente de casa de vegetação.

Silva et al. (2010) avaliando sete herbicidas, dentre eles diuron + hexazinone, em aplicação quando as plantas possuíam 3 a 4 folhas completamente expandidas, em quatro variedades de cana-de-açúcar, concluiu que este herbicida afetou a maioria das variáveis testadas, como por exemplo a taxa de crescimento.

Tabela 10 – Altura de plantas de cana-de-açúcar (cm), das variedades CTC15, RB85-7515, RB85-5536 e RB92-579, em função da aplicação do herbicida em fase de 2 a 3 folhas. Piracicaba, SP

Var.	Trat.	Altura de planta					
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA
1	Test.	13,25 ab	14,75 ab	16,00 a	14,25 ab	18,75 a	34,13 ab
	D+H+S	11,88 abc	12,38 abc	13,13 a	14,50 ab	17,88 bc	25,00 ab
2	Test.	9,50 bcd	11,75 bc	13,75 a	11,59 ab	16,38 bc	25,73 abc
	D+H+S	7,90 d	10,13 c	11,13 a	12,63 b	11,15 c	21,75 c
3	Test.	9,63 bcd	10,88 c	13,25 a	12,63 ab	14,50 bc	24,75 abc
	D+H+S	9,25 cd	10,38 c	11,13 a	11,88 ab	13,00 c	20,38 bc
4	Test.	14,00 a	15,25 a	16,88 a	15,63 a	19,50 ab	28,38 a
	D+H+S	11,63 abc	13,13 a	15,25 a	13,63 ab	14,88 c	20,63 abc
Valores de F	Blocos	0,58 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,20 ^{ns}
	Trat.	6,58**	10,33**	0,86**	2,68**	12,77**	4,65**
C.V. (%) ⁽²⁾		15,3	10,81	25,57	17,53	10,2	17,09
D.M.S.		3,95	3,23	7,91	5,4	6,07	6,39

(**) significativo a 1%; (^{ns}): não significativo (P<0,05); (⁽²⁾): coeficiente de variação. Var.: Variedade. Trat.: Tratamentos. 1. CTC15. 2. RB86-7515. 3. RB85-5536. 4. RB92-579. Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As reduções de crescimento em altura nas plantas de todas as variedades tratadas com diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl se mantiveram na fase de 5 a 6 folhas (Tabela 11), como também observado nas épocas anteriores de aplicação. Aos 7 DAA, a variedade RB86-7515 apresentou redução de altura entorno de 20%, chegando aos 90 DAA, com média de altura de plantas muito próximas as da testemunha. Desempenho semelhante também foi observado para as variedades RB86-7515, RB85-5536 e RB92-579 aos 7 DAA

Ferreira et al. (2005), ao estudarem quinze cultivares de cana-de-açúcar submetidos a aplicação de trifloxysulfuron-sodium + ametrina, obtiveram dados de tolerância da variedade RB86-7515 a mistura herbicida utilizada, não havendo

diferença de altura entre os tratamentos e testemunhas. Porém, a cultivar RB855113 com o mesmo herbicida utilizado houve queda de altura em torno de 70% quando comparado com a testemunha. Os mesmos autores trabalhando com a cultivar CTC 4, através da aplicação de tebuthiuron (1200 g i.a ha⁻¹) e diuron + hexazinone (1170 + 330g i.a ha⁻¹) verificaram em relação a testemunha valores de 95,05 e 47,7 %, respectivamente, na diferença de altura de plantas.

Tabela 11 – Altura de plantas de cana-de-açúcar (cm), das variedades CTC15, RB85-7515, RB85-5536 e RB92-579, em função da aplicação do herbicida em fase de 5 a 6 folhas. Piracicaba, SP

Var.	Trat.	Altura de planta					
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA
1	Test.	13,25 ab	14,75 ab	16,00 a	14,25 ab	18,75 a	34,13 ab
	D+H+S	11,88 abc	12,38 abc	13,13 a	14,50 ab	17,88 bc	25,00 ab
2	Test.	9,50 bcd	11,75 bc	13,75 a	11,59 ab	16,38 bc	25,73 abc
	D+H+S	7,90 d	10,13 c	11,13 a	12,63 b	11,15 c	21,75 c
3	Test.	9,63 bcd	10,88 c	13,25 a	12,63 ab	14,50 bc	24,75 abc
	D+H+S	9,25 cd	10,38 c	11,13 a	11,88 ab	13,00 c	20,38 bc
4	Test.	14,00 a	15,25 a	16,88 a	15,63 a	19,50 ab	28,38 a
	D+H+S	11,63 abc	13,13 a	15,25 a	13,63 ab	14,88 c	20,63 abc
Valores de F	Blocos	0,61 ^{ns}	3,4 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,36 ^{ns}
	Trat.	13,42**	17,79**	17,05**	42,74**	39,98**	71,03**
C.V. (%) ⁽²⁾		9,47	8,2	14,65	6,94	10,2	4,89
D.M.S.		4,82	4,18	8,37	4,79	6,07	4,12

(**) significativo a 1%; (^{ns}): não significativo (P<0,05); (⁽²⁾): coeficiente de variação. Var.: Variedade. Trat.: Tratamentos. 1. CTC15. 2. RB86-7515. 3. RB85-5536. 4. RB92-579. Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No parâmetro fitotoxicidade, avaliado de 0 a 100%, onde 0 correspondeu a ausência de sintomas, e 100% a morte completa das plantas, não se constatou diferença significativa entre as variedades avaliadas neste trabalho. Entretanto, as épocas de aplicação afetaram o nível de fitotoxicidade de cada variedade de cana-de-açúcar. Os resultados estão apresentados nos gráficos de 2 a 7, com base no erro padrão, correspondendo ao quanto a média da amostra se aproxima da média da população.

Na avaliação conduzida sete dias após a aplicação do herbicida, as quatro variedades mostraram maior tolerância em aplicação na pré-emergência e fase de esporão, apresentando níveis de fitotoxicidade entorno de 10%. A variedade CTC 15

mostrou-se mais suscetível nas fases de pós-emergência (2 a 3 e 5 a 6 folhas), atingindo valores próximos a 40% de intoxicação.

Gráfico 2 - Fitotoxicidade acarretada pelo herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aos 7 DAA. Médias agrupadas por variedade de cana-de-açúcar, onde: 1. Pré-emergência, 2. Esporão, 3. Estádio de 2 a 3 folhas, 4. Estádio de 5 a 6 folhas e Test. Testemunha. Piracicaba, SP

Velini et al. (2000), avaliando a seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametrina, em dez variedade de cana-de-açúcar observou que nas parcelas com aplicação em pré-emergência os sintomas de intoxicação (avermelhamento e necrose) ficou entorno de 4,72% (RB 83-5089) a 14,58% (RB 82-5336) da área foliar da cultura, e em pós-emergência os sintomas alcançaram entre 20,16% (SP 71-1406) e 45,44% (80-1842) da área foliar da cana.

Aos 14 DAA, as plantas que foram submetidas a aplicação de D+H+SM na pré-emergência da cultura, não apresentaram mais os sintomas de intoxicação, nas variedades CTC 15 e RB92-579, confirmando a tolerância para esse momento de aplicação. Enquanto que aos 21 DAA, todas as variedades demonstraram suscetibilidade, a níveis de intoxicação variando de 10 a 45%, de acordo com o material genético.

Soares et al. (2011), avaliando a seletividade de nove herbicidas, observou que os sintomas de fitotoxicidade ainda estavam presentes aos 33 DAA, em todas as cultivares e o tratamento com isoxaflutole (262,5 g ha⁻¹) ainda apresentou notas próximas a 80%, devido ao herbicida possuir como mecanismo de ação a inibição da biossíntese de caroteno, sintoma característico das folhas albinas. Com o tratamento

utilizando sulfentrazone (800 g ha^{-1}) os sintomas foram menos intensos que os apresentados aos 13 DAA, mas ainda próximos aos 50% (IACSP93-3046 e IACSP94-2094). Para o herbicida amicarbazone, a fitotoxicidade alcançou notas de 70% na cultivar IAC91-5155, e os tratamentos clomazone (1100 g ha^{-1})+clomazone (1000 g ha^{-1}) e ametryn (1500 g ha^{-1}) propiciaram notas superiores a 40% de fitotoxicidade na cultivar IACSP94-2094.

Gráfico 3 - Fitotoxicidade acarretada pelo herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aos **14 DAA**. Médias agrupadas por variedade de cana-de-açúcar, onde: 1. Pré-emergência, 2. Esporão, 3. Estádio de 2 a 3 folhas, 4. Estádio de 5 a 6 folhas e Test. Testemunha. Piracicaba, SP

Gráfico 4 - Fitotoxicidade acarretada pelo herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aos **21 DAA**. Médias agrupadas por variedade de cana-de-açúcar, onde: 1. Pré-emergência, 2. Esporão, 3. Estádio de 2 a 3 folhas, 4. Estádio de 5 a 6 folhas e Test. Testemunha. Piracicaba, SP

Gráfico 5 - Fitotoxicidade acarretada pelo herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aos **30 DAA**. Médias agrupadas por variedade de cana-de-açúcar, onde: 1. Pré-emergência, 2. Esporão, 3. Estádio de 2 a 3 folhas, 4. Estádio de 5 a 6 folhas e Test. Testemunha. Piracicaba, SP

Gráfico 6 - Fitotoxicidade acarretada pelo herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aos **60 DAA**. Médias agrupadas por variedade de cana-de-açúcar, onde: 1. Pré-emergência, 2. Esporão, 3. Estádio de 2 a 3 folhas, 4. Estádio de 5 a 6 folhas e Test. Testemunha. Piracicaba, SP

Os sintomas visuais de intoxicação se mantiveram em níveis semelhantes dos 14 até 30 DAA, com redução perceptível a partir dos 60 DAA. Nesse momento, as aplicações na época de esporão nas variedades RB86-7515 e BR85-5536, se igualaram a testemunha, com ausência dos sintomas de fitotoxicidade. Aos 90 DAA, em todas as variedades, a fitotoxicidade ficou abaixo de 20% nas épocas de aplicação de pré-emergência e pós-emergência, com exceção da variedade CTC 15 que ainda demonstrava intoxicação nesse período.

Gráfico 7 - Fitotoxicidade acarretada pelo herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl aos **90 DAA**. Médias agrupadas por variedade de cana-de-açúcar, onde: 1. Pré-emergência, 2. Esporão, 3. Estádio de 2 a 3 folhas, 4. Estádio de 5 a 6 folhas e Test. Testemunha. Piracicaba, SP

Para os resultados de matéria seca da parte aérea (Tabela 12) verificou-se diferenças significativas entre as épocas de aplicação para cada variedade analisada, com redução de massa comparado a testemunha. A aplicação em pré-emergência acarretou menores prejuízos em termos de redução de massa de planta, concordando com o que foi observado na avaliação de altura de planta.

Na variedade RB86-7515 a aplicação na fase de 2 a 3 folhas proporcionou maior redução de massa de matéria seca com relação a testemunha correspondente, 22,19 g, enquanto que para a RB92-579 a expressiva redução foi observada tanto na fase de 2 a 3 folhas (26,93 g), como quando a planta possuía 5 a 6 folhas completamente expandidas (25,74 g). A variedade RB92-579 foi a mais prejudicada no parâmetro em discussão, com 48,6 % de redução com aplicação do herbicida no estágio de esporão, 36,5 % com 2 a 3 folhas e 39,3% com 5 a 6 folhas.

Ferreira et al. (2012), em trabalhos com quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a aplicação de sete herbicidas, observaram resultados para o herbicida diuron + hexazinone nas cultivares RB867515 e SP80-1816 de 43,23 e 6,36% em relação a testemunha de acúmulo de massa de matéria seca.

Nesse panorama, os dados de altura, fitotoxicidade e massa de matéria seca corroboram para indicar que existe diferencial de tolerância entre as variedades submetidas a aplicação do herbicida diuron+hexazinone+sulfometuron methyl. As épocas de desenvolvimento onde as aplicações repercutiram em maiores prejuízos

foram em pós-emergência tardia, com 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas completamente expandidas.

Tabela 12 – Massa de matéria seca de cana-de-açúcar (g), das variedades CTC15, RB85-7515, RB85-5536 e RB92-579, em função das épocas de aplicação e herbicidas aplicados. Piracicaba, SP

Tratamento		Massa de matéria seca
Variedade	Estádio de desenvolvimento	
CTC 15	Pré-emergência	25,69 ± 3,14 η
	Esporão	17,95 ± 2,04 κ
	2 a 3 folhas	16,38 ± 7,23 κ
	5 a 6 folhas	20,82 ± 6,69 θ
	Testemunha	34,82 ± 3,60 δ
RB86-7515	Pré-emergência	32,88 ± 11,34 ε
	Esporão	29,02 ± 6,44 ζ
	2 a 3 folhas	16,24 ± 2,23 κ
	5 a 6 folhas	20,03 ± 4,08 ι
	Testemunha	38,43 ± 3,44 κ
RB85-5536	Pré-emergência	32,09 ± 5,64 θ
	Esporão	28,83 ± 1,69 ζ
	2 a 3 folhas	25,34 ± 1,30 η
	5 a 6 folhas	21,66 ± 4,32 θ
	Testemunha	46,37 ± 8,36 α
RB92-579	Pré-emergência	37,13 ± 2,25 γ
	Esporão	20,58 ± 5,47 ι
	2 a 3 folhas	15,46 ± 1,54 κ
	5 a 6 folhas	16,65 ± 5,18 κ
	Testemunha	42,39 ± 8,42 β
gl		F
Modelo		11,33
Resíduo		60
Total		79
		p
		< 0,0001

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), onde $\alpha=a$; $\beta=ab$; $\gamma=abc$; $\delta=abcd$; $\epsilon=abcde$; $\zeta=bcdef$; $\eta= cdef$; $\theta=def$; $\iota= ef$ e $\kappa=f$. gl = graus de liberdade

4.3 Absorção e translocação de ^{14}C - sulfometuron-methyl em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar

O estudo de absorção e translocação de ^{14}C -sulfometuron-methyl foi realizado para comparar tais parâmetros entre os estádios de 2 a 3 folhas expandidas e 5 a 6 folhas expandidas (Figura 3), onde foi encontrado diferenças estatísticas significativas, quando submetidas a aplicações de diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl, em ensaio de campo (item 4.1). Dessa forma, o trabalho avaliou as possíveis diferenças de absorção e translocação entre os estádios de desenvolvimento.

Figura 3 - Plantas utilizadas para os testes de absorção e translocação. A esquerda estágio de desenvolvimento de 2 a 3 folha, e a direita estágio de 5 a 6 folhas. Piracicaba, SP

Figura 4 - Detalhe da aplicação via microaplicador (Hamilton PB6000 Dispenser). Piracicaba, SP

Os resultados de absorção e translocação foram expressos em porcentagens obtidas em relação a radioatividade recuperada. E para interpretação dos resultados modelos de regressão foram ajustados para encontrar a melhor forma de descrever o que acontece biologicamente com as plantas.

Funções de regressão assintótica já foram usadas no passado para descrever absorção foliar de herbicidas (DODDS et al., 2007; GRANGEOT et al., 2006). No entanto, tais estudos não levavam em consideração o tempo estimado necessário para atingir 90% da máxima absorção (t_{90}) (KNISS et al., 2011). O parâmetro t_{90} fornece uma estimativa melhor do tempo requerido para absorção máxima e, portanto, próxima da absorção completa. O conhecimento deste nível de absorção é importante para a comparação de formulações de herbicidas ou de adjuvantes para estudos sobre o tempo necessário sem chuva após aplicação herbicida ou sobre diferenças entre cultura e planta daninha, por exemplo. Ao incluir o parâmetro t_{90} no modelo em uma regressão não-linear, tem-se eq.(3):

$$Absorção = Amáx * \{1 - \exp [(\log 0.1) * (t/t_{90})]\} \quad (3)$$

onde *Absorção* é expressada como a porcentagem da dose aplicada, *Amáx* é a absorção máxima em altos valores de *t*, *t* é o tempo, e t_{90} é o tempo requerido para que 90% da máxima absorção ocorra.

Os parâmetros *Amáx* e o t_{90} na equação 4 tem interpretações significativas no contexto de absorção foliar de herbicidas, sendo um método simples, mas descritivo de interpretar dados de absorção foliar. O modelo mencionado permite que comparações de tratamentos sejam relativamente simples porque muitos programas estatísticos disponibilizam um método para a condução de testes de parâmetros do modelo entre tratamentos.

Modelos de hipérbole retangular também possuem os atributos necessários para descrever absorção de herbicidas ao longo do tempo, e é expresso por:

$$Absorção = (Amáx * t) / (0.11 * t_{90} + t) \quad (4)$$

onde *Absorção*, *Amáx* e *t* mantêm a mesma interpretação da equação 3.

As equações 3 e 4 fornecem o nível máximo de absorção foliar do herbicida em termos do parâmetro $A_{máx}$ e, portanto, a absorção máxima pode ser estatisticamente comparada entre tratamentos com um teste de razão de verossimilhanças (“likelihood ratio test”) do parâmetro $A_{máx}$ entre as curvas, independentemente do modelo (KNISS et al., 2011).

Tabela 13 - Parâmetros do modelo de regressão assintótica

	Estimado	Erro Padrão	Valor t	Valor p	IC (95%)
$A_{máx}$: Est. 1*	15,0502	1,2861	11,7020	$4,241e^{-13}$	(12,43; 17,67)
$A_{máx}$: Est. 2	15,6514	1,0884	14,3808	$1,697e^{-15}$	(13,43; 17,86)
t_{90} : Est. 1	14,8012	6,4584	2,2918	0,0286	(1,64; 27,95)
t_{90} : Est. 2	6,9890	3,0274	2,3085	0,0276	(0,82; 13,15)
Erro Padrão Residual: 3,262 (32 graus de liberdade)					

*Est. 1: 2 a 3 folhas; Est 2: 5 a 6 folhas.

Tabela 14 - Parâmetros do modelo de hipérbole retangular

	Estimado	Erro Padrão	Valor t	Valor p
$A_{máx}$: Estádio 1*	16,5822	1,7007	9,7504	$4,193e^{-11}$
$A_{máx}$: Estádio 2	16,7272	1,2571	13,3057	$1,376e^{-14}$
t_{90} : Estádio 1	39,6687	21,0935	1,8806	0.0692
t_{90} : Estádio 2	17,3501	8,9152	1,9461	0.0605
Erro Padrão Residual: 3,008 (32 graus de liberdade)				

*Est.1: 2 folhas; Est. 2: 5 folhas.

Tabela 15 - Valores de AICc (Aikaike Information Criterion) calculados para cada modelo analisado

	Modelo		
	Regressão Assintótica	Hipérbole Retangular	Linear
AICc values	195,0673	189,2199	223,8545

Tabela 16 - Comparação entre os $A_{máx}$ e t_{90} para o modelo de regressão assintótica e intervalo de confiança de 95%

Comparação	Parâmetro	Diferença Estimada	Erro Padrão	Valor p
A versus B	$A_{máx}$	-0,60115	1,68	0,7236
	t_{90}	7,8122	7,13	0,2816

Após uma primeira verificação dos dados, optou-se por ajustá-los à modelos de regressão assintótica e de hipérbole retangular e checar se os ajustes seriam razoáveis para descrever os dados. O erro padrão residual do modelo de regressão assintomática (Tabelas 13 e 14) foi o primeiro indicativo de que tal modelo fornece um melhor ajuste dos dados. Apesar de os valores de AICc da Tabela 15 serem próximos, obteve-se mais uma indicação de que o modelo de regressão assintomática fornece um melhor ajuste dos dados, quando se observa t_{90} . Ainda que o erro padrão residual e o índice AIC serem semelhantes, em termos biológicos a regressão assintótica faz mais sentido para a interpretação dos dados; uma vez que dificilmente 90% do total aplicado de um herbicida será absorvido apenas 39,66 horas após o tratamento.

Os $A_{máx}$ para os estádios fenológicos 2 a 3 e 5 a 6 folhas foram estimados em 24,7 e 25,4, respectivamente (Tabela 14). A planta de cana-de-açúcar nos dois estádios estudados seria estimada a absorver o máximo entre 15,05 e 15,65 da dose de sulfomenturon aplicada. Os parâmetros t_{90} foram estimados em 14,08 e 7,0 horas após o tratamento para os estádios fenológicos 2 a 3 e 5 a 6 folhas, respectivamente. Em outras palavras, o tempo requerido para que 90% da máxima absorção ocorra seria aproximadamente 14,08 e 7,0 horas para os estádios de desenvolvimentos citados anteriormente.

O teste de razão de verossimilhanças (“likelihood ratio test”) foi feito para comparar os parâmetros estatisticamente entre os dois estádios de cana-de-açúcar. Os valores de p para ambas as comparações não foram significativas (Tabela 16), indicando que a absorção de sulfometuron em cana-de-açúcar não difere entre os estádios fenológicos estudados e, portanto, a absorção de sulfometuron não explica as diferenças na susceptibilidade da planta entre tais estádios, contrapondo ao evidenciado em ensaio preliminar em campo.

Gráfico 8 - Total absorvido em porcentagem (%). A. Estádio de 2 a 3 folhas; B. Estádio de 5 a 6 folhas. Piracicaba, SP

Rodney (1992) avaliando absorção e translocação de ^{14}C -sulfometuron-methyl em plantas da espécie *Euphorbia esula* observou que independente do estágio de desenvolvimento a absorção e translocação foram baixas. Na média, 11% do produto radiomarcado foi absorvido, e aproximadamente 90% do herbicida permaneceram na folha tratada. Baixa absorção relativa foi observada para imazethapyr, o qual possui mesmo mecanismo de ação do sulfometuron-methyl, entorno de 15%.

Os herbicidas inibidores da enzima ALS tem a capacidade de utilizar suas características de dissociação para atuar de forma mais eficiente em células pertencentes a um mesmo domínio. Uma vez que o pH do exterior celular está ao

redor de 5,5, as moléculas dos herbicidas inibidores da ALS estão na forma não-dissociada, sendo passíveis de penetrar na célula facilmente. Ao entrarem no citoplasma, onde o meio é mais alcalino, dissociam-se e adquirem a forma mais ativa de sua molécula e menos passível de transporte. As moléculas do herbicida ficam "presas" no citoplasma, pois a forma dissociada é menos capaz de se difundir para o exterior. Vidal (2002) cita que a esse comportamento é dado o nome de "armadilha iônica". Nessa situação, o herbicida move-se livremente, pois, na teoria, em um mesmo domínio, ocorre "um único citoplasma" (CRAWFORD; ZAMBRYSKI, 2001). Assim sendo, a entrada do herbicida numa única célula possibilita sua distribuição em todas as demais pertencentes ao mesmo domínio (Jachetta et al., 1986). Além disso, os plasmodesmos podem ter participação significativa no transporte no que diz respeito a moléculas com pKa (constante de dissociação) abaixo do pH do xilema, que é ao redor de 5,5, além de auxiliar no transporte simplástico dessas moléculas, por outra rota que não seja o floema (VIDAL, 2002).

A translocação do sulfomenturon foi analisada para as diferentes partes da cana-de-açúcar (folhas acima e abaixo da folha tratada, raiz e tolete), dentro de cada hora de avaliação (3, 9, 24, 48 e 72). Sendo assim, foi analisado o efeito da interação entre os fatores "estádio fenológico" (1 e 2, 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas expandidas, respectivamente) e, "parte da planta" (parte acima da folha tratada, parte abaixo da folha tratada, tolete e raiz), uma vez que esta foi significativa dentro de todas as horas de avaliação.

Após a aplicação do teste Levene para verificar a homogeneidade de variâncias, as interações foram desdobradas como demonstrado na Tabela 17.

Tabela 17 - Desdobramento da interação entre estágio e parte da planta de cana-de-açúcar em função da porcentagem de sulfometuron-methyl translocado. Piracicaba, SP

HAT*	Estádio Fenológico	Segmentos da planta de cana-de-açúcar			
		Acima da Folha Tratada	Abaixo da Folha Tratada	Tolete	Raiz
3	1	0,052 A a	0,258 A a	0,195 B a	2,63 A b
	2	0,817 A b	0,435 A b	2,631 A a	0,54 B b
9	1	0,064 A b	0,117 A b	0,176 A b	2,62 A a
	2	0,529 A b	0,763 A b	4,242 B a	1,38 A b
24	1	0,028 B c	0,118 A b	0,119 B b	2,49 A a
	2	0,397 A b	0,680 A b	3,494 A a	0,38 B b
48	1	0,019 A c	0,094 A c	0,146 B b	1,793 A a
	2	0,611 A b	0,376 A b	3,171 A a	0,190 B b
72	1	0,007 A b	0,076 B b	0,035 B b	2,268 A a
	2	0,659 A a	0,600 A a	3,477 A b	0,257 B a

*HAT: horas após tratamento. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha ou mesma letra maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A porcentagem total de sulfometuron-methyl translocado não ultrapassou 8% para 2 a 3 folhas, e 15% para 5 a 6 folhas. Esses picos de valores percentuais de translocação foram verificados para ambos os estádios no período de 24 HAT, com posterior redução nos períodos subsequentes, 5 e 7% após 72 horas do tratamento, para 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas (2,3% após 72 horas), respectivamente.

Quando se compara a porcentagem translocada nos dois estádios de desenvolvimento dentro de cada período de avaliação após o tratamento, para cada segmento das plantas de cana-de-açúcar, verificamos que a maior diferença significativa ocorre no tolete e na raiz. Para o estágio de 2 a 3 folhas, o tolete foi o segmento onde a maior porcentagem de produto translocado foi detectada (3,5% após 72 horas), enquanto que para o estágio de 5 a 6 folhas, o segmento que recebeu maior movimento do herbicida foi a raiz.

Baird et al. (1989) constatou que sulfometuron foi absorvido pelas raízes e folhas de *Eremochloa ophiuroides* e *Paspalum notatum*, além de evidenciar a translocação via simplasto em ambas as espécies. A translocação foliar em *Paspalum notatum* aumentou de 1% em 48 HAT para 23% em 72 HAT.

Os resultados de autorradiografia de translocação do herbicida nas plantas ilustram os resultados obtidos neste trabalho (Figura 5, 6 e 7). Nas plantas de 2 a 3 folhas, o produto radiomarcado permaneceu apenas nas folhas tratadas, das 3 até as 48 horas após o tratamento (HAT). Observando 72 HAT, a autorradiografia mostra que o ^{14}C -sulfometuron-methyl translocou das folhas tratadas para folha acima, abaixo e raiz. Todavia, nas plantas de 5 a 6 folhas expandidas, o produto não apresentou movimento para outras partes (folhas acima, abaixo, tolete e raiz), conforme apresentado nas Figuras 6 e 7.

Um dos indícios que pode explicar a razão das radiografias para plantas de 5 a 6 folhas expandidas não mostrarem movimento de translocação é que a relação da quantidade de radioatividade aplicada com o tamanho das plantas não foi suficiente para que permitisse a detecção pelo equipamento. Dessa forma, possivelmente com uma solução com maior radioatividade as imagens de autorradiografia poderiam representar o que os dados de translocação acusaram, para plantas de 5 a 6 folhas expandidas.

Figura 5 - Autorradiografia de translocação de ^{14}C -sulfometuron-methyl pelos tecidos vegetais de plantas de cana-de-açúcar com 2 a 3 folhas expandidas. A letra (a) corresponde a fotografia da planta prensada e (b) corresponde a autorradiografia da translocação. Piracicaba, SP

Figura 6 - Autorradiografia de translocação de ^{14}C -sulfometuron-methyl pelos tecidos vegetais da parte aérea de plantas de cana-de-açúcar com 5 a 6 folhas expandidas. A letra (a) corresponde a fotografia da planta prensada e (b) corresponde a autorradiografia da translocação. Piracicaba, SP

Figura 7 - Autorradiografia de translocação de ^{14}C -sulfometuron-methyl pelos tecidos vegetais da parte aérea de plantas de cana-de-açúcar com 5 a 6 folhas expandidas. A letra (a) corresponde a fotografia da planta prensada e (b) corresponde a autorradiografia da translocação. Piracicaba, SP

5 CONCLUSÕES

Nas condições do ensaio em campo, com a variedade CTC 15, os herbicidas diuron+hexazinone+sulfometuron-methyl e amicarbazone apresentaram fitotoxicidade nos diferentes estádios de desenvolvimento (pré-emergência, esporão, 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas), com porcentagens crescentes de 7 a 90 DAA, e decréscimo aos 150 DAA. Ocorreram diferenças significativas entre as épocas de aplicação, destacando-se as diferenças em pós-emergência entre as plantas submetidas a aplicação com 2 a 3 e 5 a 6 folhas. Apesar dos sintomas severos observados visualmente, não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos com herbicidas em relação a testemunha, nas épocas de desenvolvimento, e em termos de produtividade ($t.ha^{-1}$), porcentagem de sólidos solúveis (Brix), porcentagem de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores totais (ATR), os quais provavelmente foram influenciados pela ocorrência de altos volumes de chuva no período de outubro a novembro (tabela 3), correspondente as datas de aplicação das épocas consideradas em pós-emergência.

No ensaio com as variedades CTC 15, RB86-7515, RB85-5536 e RB92-579, em condições de casa de vegetação semi-controladas, constatou-se diferença significativa na redução de altura de planta para todas as variedades, com agravamento dessa diferença a partir dos 60 DAA, onde as plantas testemunhas obtiveram maiores condições de crescimento do que as plantas tratadas. Para as mesmas variedades e épocas, observou-se fitotoxicidade mais expressivas nas fases de 2 a 3 folhas e 5 a 6 folhas de 7 a 30 DAA, entretanto, não influenciaram de forma significativa a massa de matéria seca.

Em ensaio para estudo de absorção e de translocação nos estádios de desenvolvimento de 2 a 3 e 5 a 6 folhas, verificou-se que no parâmetro absorção não ocorreram discrepâncias entre os estádios; assim sendo, as diferenças encontradas para a seletividade de herbicida em ensaio a campo, não podem ser justificadas por absorção diferenciada no comparativo dos dois estádios. No parâmetro translocação, a maior porcentagem de produto translocado foi encontrado nas raízes para 2 a 3 folhas, e no tolete para 5 a 6 folhas, o que pode ser indícios de diferença na seletividade, necessitando de estudos mais aprofundados para que essa questão seja esclarecida.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT:** Sistema de agrotóxicos fitossanitários. 2014. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 ago. 2015.
- ALVES, S.N.R. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes condições de restrição hídrica no solo da cultura de cana-de-açúcar.** 2010. 126 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- ARALDI, R. **Avaliação da absorção do amicarbazone e intoxicação em cana-de-açúcar e plantas daninhas.** 2010. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.
- _____. **Comparação de métodos para determinar a seletividade de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar.** 2004. 116 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2004.
- AZANIA, C.A.M.; ROLIM, J.C.; AZANIA, A.A.P.M.; SCHIAVETTO, A.R.; VANZELA, I.P. Seletividade de herbicidas em cana-de-açúcar. **Energia Brasileira**, Araçatuba, ano II, n. 17, p. 56-60, 2008.
- AZANIA, C.A.M.; ROLIM, J.C.; CASAGRANDE, A.A.; LAVORENTI, N.A.; AZANIA, A.A.P.M. Seletividade de herbicidas. I – Utilização do método de testemunhas pareadas em experimento com cana-de açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, p. 661-667, 2005a.
- _____. Seletividade de herbicidas. II - Aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar na época das chuvas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, p.669-675, 2005b.
- _____. Seletividade de herbicidas. III – Aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar na época da estiagem. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, p.489-495, 2006.
- BAIRD, J.H.; WILCUT, W.; WEHTJE, G.R.; DICKENS, R.; SHARPE, S. Absorption, translocation and metabolismo of sulfometuron in centpedegrass (*Eremochloa ofiuroides*) and bahiagrass (*Paspalum notadum*). **Weed Science**, Indianapolis, v. 37, p. 42-46, 1989.
- BARELA, J.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura da cana-de-açúcar (RB867515) tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, p. 371-378, 2006.

BLANCO, F.M.G. **Persistência do herbicida sulfentrazone em solos cultivados com cana-de-açúcar e soja e seu efeito em culturas sucedâneas**. 2002. 114 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2012. Disponível em: <http://www.extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_const.com.br>. Acesso em: 18 abr. 2013.

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

BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Information and likelihood theory: a basis for model selection and interference. In: _____. **Mode selection and multi-modal interference: a practical information: theoretic approach**. 2nd ed. New York: Springer, 2002. chap. 2, p. 49-97.

CANASAT. **Mapeamento de cana via imagens de satélite**. Disponível em <www.dsr.inpe.br/laf/canasat/Tabelas.html>. Acesso em: 19 abr. 2013.

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

CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; FERREIRA, R.R.; FIGUEIRA, A.V.O.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 136-142, 2009.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia de cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

CASTRO, C.A.M.R. **A problemática da agroindústria açucareira no estado do Rio de Janeiro**. 1995. 53 p. Monografia (Trabalho Monográfico de Bacharelado) – Faculdade Candido Mendes, Campos, p.53, 1995.

CECHIN, I. Uso de sistemas portáteis de fluorescência na avaliação do estresse. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 20., 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1996. p. 1-28.

CHIOVATO, M.G. **Controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar com herbicidas aplicados em época seca**. 2009. 103 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. **Dinâmica de herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Edição dos Autores, 2005. 49 p.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas**. Disponível em: <<http://www.potafos.org>>. Acesso em: 19 set. 2014.

COBB, A. **Herbicides and plant physiology**. London: Chapman & Hall, 1992. 315 p.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-ÁÇUCAR, AÇÚCAR, E ALCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções do CONSECANA**. 2006. Disponível em: <http://www.orplana.com.br/manual_2006.pdf> Acesso em: 10 jan. 2015.

CONSTANTIN, J. **Avaliação da seletividade do herbicida halosulfuron na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1996. 71 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1996.

CORREIA, N.M.; KRONKA JR., B. Eficácia de herbicidas aplicados nas épocas seca e úmida para o controle de *Euphorbia heterophylla* na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 853-863, 2010.

CRAWFORD, K.M.; ZAMBRYSKI, P.C. Non-targeted and targeted protein movement through plasmodesmata in leaves in different developmental and physiological status. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 125, p. 1802-1812, 2001.

DEVINE, M.; DUKE, S.O.; FEDTKE, C. Oxygen toxicity and herbicidal action; Secondary physiological effects of herbicides. In: _____. **Physiology of herbicide action**. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. p. 177-188.

DODDS, D.M.; REYNOLDS, D.B.; MASSEY, J.H.; SMITH, M.C.; KOGER, C.H. Effect of adjuvant and urea ammonium nitrate on bispyribac efficacy, absorption, and translocation in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), II: absorption and translocation. **Weed Science**, Indianapolis, v. 55, p. 406–411, 2007.

EMBRAPA. **Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar**. Plantio. 2011. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html> Acesso em: 20 abr. 2013.

FERREIRA, E.A.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; VENTRELLA, M.C.; BARBOSA, M.H.P.; PROCÓPIO, S.O.; REBELLO, V.P.A. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium+ ametryn. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 93-99, 2005.

FERREIRA, E.A.; SILVA, A.F.; SILVA, A.A.; SILVA, D.V.; GALON, L.L.; FRANÇA, A.C.; SANTOS, J.B. Toxicidade de herbicidas a genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 84, 2012.

FERREIRA, R.R.; OLIVEIRA, F.T.R.; DELITE, F.S.; AZEVEDO, R.A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; FIGUEIRA, A.V.O. Tolerância diferencial de cultivares de cana-de-açúcar a estresse por herbicidas. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 395-404, 2010.

FRANCINO, P.; REZENDE, P.; GIUSTI, C.; NICOLAI, M.; BARBALHO, S.; CHRISTOFFOLETI, P. Seletividade do herbicida amicarbazone para soqueiras de cana-de-açúcar aplicado na época chuvosa no estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Palestras...** Ribeirão Preto: 2010. p. 2327-2330.

FRANCONERE, R. **Mercado de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar**. 2010. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Escola de Economia, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

HAGER, A.; NORDBY, D. Herbicide persistence and how to test for residues in soils. In: BISSONNETTE, S. **Illinois agricultural pest management handbook**. Illinois: University of Illinois, 2004. p. 323-326.

HERBICIDE RESISTANCE COMMITTEE. **Classification of herbicides according to site of action**. 2011. Disponível em: <<http://www.hracglobal.com/Publications>>. Acesso em: 09 set. 2015.

JACHETTA, J.J.; APPLEBY, A.P.; BOERSMA, L. Apoplastic and symplastic pathways of atrazine and glyphosate transport in shoots of seedling sunflower. **Plant Physiology**, Amsterdam, v. 82, p. 1000-1007, 1986.

KNISS, A.R.; VASSIOS, J.D.; NISSEN, S.J.; RITZ, C. Nonlinear regression analysis of herbicide absorption studies. **Weed Science**, Indianapolis, v. 59, p. 601-610, 2011.

KUVA, M.A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; ALVES, P.L.C.A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III – Capim-brachiaria (*Brachiaria decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2008.

KUVA, M.A.; FERRAUDO, A.S.; PITELLI, R.A.; ALVES, P.L.C.A.; SALGADO, T.P. Padrões de infestação de comunidades de plantas daninhas no agroecossistema de cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 549-557, 2008.

LORENZI, H. Plantas daninhas e seu controle na cultura de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1988, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: COPERSUCAR, 1988. p. 281-301.

GRANGEOT, M.; CHAUVEL, B.; GAUVRIT, C. Spray retention, foliar uptake and translocation of glufosinate and glyphosate in *Ambrosia artemisiifolia*. **Weed Research**, Oxford, v. 46, p. 152-162, 2006.

NEGRISOLI, E.; VELINI, E.D.; TOFOLI, G.R.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D.; MORELLI, J.L.; COSTA, A.G.F. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-

emergência na cultura da cana-de-açúcar tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 567-575, 2004.

NOVO, M.C.S.S.; MIRANDA FILHO, H.S. Tuberrização de dois cultivares de batata sob aplicação de sulfoniluréias. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 115-121, 2006.

OBARA, F.E.B. **Atributos do solo, presença de palha e estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar na aplicação, afetando a eficácia e seletividade dos herbicidas imazapic e imazapyr**. 2014. 108 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

OLIVEIRA JR., R.S. de; CONSTANTIN, J.; SORES, J.E.; MARCHIORI JUNIOR, O. Trifloxysulfuron-sodium: nova opção para o controle seletivo de plantas daninhas na cultura do algodão. **Revista Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 345-354, 2001.

OLIVEIRA JR., R.S.; INOUE, M.H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 243–262.

PEREZ-JONES, A.; INTANON, S.; MALLORY-SMITH, C. Molecular analysis of hexazinona-resistant shepherd's-purse (*Capsella bursapastoris*) reveals a novel psbA mutation. **Weed Science**, Champaign, v. 57, n. 6, p. 574-578, 2009.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L. Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 436-531.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L.; FERREIRA, F.A. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana de açúcar**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 150 p.

ROCHECOUSTE, E. The sugar cane plant. In: _____. **Weed controle in sugar cane: research and application**. Reduit: Mauritius Sugar Industry Research Institute, 1967. chap. 1, p. 1-13.

RODNEY, G.L. Absorption and translocation of foliar-applied sulfometuron in leaf spurge. **Weed Science**, Champaign, v. 40, p. 477-481, 1992.

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

ROLIM, J.C.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Período crítico de competição das plantas daninhas com cana planta de ano. **Saccharum APC**, São Paulo, v. 5, n. 22, p. 21-26, 1982.

SIEBENEICHLER, S.C.; SANT'ANNA, R.; MARTINEZ, C.A.; MOSQUIM, P.R.; CAMBRAIA, J. Alterações na fotossíntese, condutância estomática e eficiência

fotoquímica induzidas por baixa temperatura em feijoeiros. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 37-44, 1998.

SILVA, F.A.; LOURENCETI, C.; DORES, E.F.G.C. Influência da temperatura, umidade e profundidade do solo na persistência do diurom e sulfato de endosulfam em um solo tropical. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1457-1463, 2010.

SOARES, R.S.; AZANIA, C.A.M.; LORENZATO, C.M.; SCHIAVETTO, A.R.; ZERA, F.S.; AZANIA, A.A.P.M. Herbicidas de diferentes mecanismos de ação e a seletividade a cultivares de cana-de-açúcar. **Nucleus**, Ituverava, v. 8, n. 1, p. 56-60, abr. 2011

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS.
Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina, 1995. 42 p.

SOUZA, J.R.; PERECIN, D.; AZANIA, C.A.M.; SCHIAVETTO, A.R.; PIZZO, I.V.; CANDIDO, L.S. Tolerância de cultivares de cana-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 941-951, 2009.

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 4, n. 6, p. 22-36, jul./ago.1986.

STORK, P.R.; BENNETT, F.R.; BELL, M.J. The environmental fate of diuron under a conventional production regime in a sugarcane farm during the plant cane phase. **Pest Management Science**, Oxford, v. 64, p. 954-963, 2008.

TOLEDO, R.E.B.; HOTTA, F.K. Dinamic (amicarbazone): novo herbicida seletivo para o controle de plantas daninhas em pré e pós-emergência na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2004. p. 451.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Histórico do setor**. Linha do tempo. 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/linha-do-tempo.php>> Acesso em: 20 abr. 2013.

VELINI, E.D.; FREDERICO, L.A.; MORELLI, J.L.; KOJIMA, K. Avaliação dos efeitos do herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência, sobre o crescimento e produtividade de soqueiras de nove cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993. p. 125-128.

VELINI, E.D.; MARTINS, D.; MANOEL, L.A.; MATSUOKA, S.; TRAVAIN, J.C.; CARVALHO, J.C. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré e pós-emergência, a dez cultivares de cana-de-açúcar (cana planta). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 123-134, 2000.

VELINI, E.D.; FREDERICO, L.A.; ORSI JÚNIOR, F.; MORELLI, J.L. Avaliação dos efeitos do clomazone sobre o crescimento e produtividade de cana-de-açúcar (cana-planta CV. RB72454). In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 6., 1993, Maceió. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1996. p. 377-381.

VICTORIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de plantas daninhas e produtividade de cana-de-açúcar. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, p. 32-37, jan./jul. 2004.

VICTÓRIA FILHO, R.; CAMARGO, P. N. Efeitos de herbicidas nos teores de macronutrientes e nas características tecnológicas da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). I – Misturas de herbicidas em pós-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 3, n. 2, p. 96-107, 1980.

VIDAL, R.A. **Ação dos herbicidas**. Porto Alegre: UFRGSul, 2002. 89 p.

VIDAL, R.A.; MEROTTO Jr., A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: Os Autores, 2001. 152 p.