

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS MORRINHOS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA

SELETIVIDADE INICIAL DE MESOTRIONE EM
DIFERENTES MODALIDADES DE APLICAÇÃO PARA A
CULTURA DO MILHO DOCE

Autora: Mylla Crysthyan Ribeiro Ávila
Orientador: Dr. Sidnei Douglas Cavalieri

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS MORRINHOS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA

SELETIVIDADE INICIAL DE MESOTRIONE EM
DIFERENTES MODALIDADES DE APLICAÇÃO PARA A
CULTURA DO MILHO DOCE

Autora: Mylla Crysthyan Ribeiro Ávila
Orientador: Dr. Sidnei Douglas Cavalieri

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM OLERICULTURA, no Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos – Área de Concentração: Manejo Fitossanitário em Olerícolas.

MORRINHOS - GO
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano Campus Morrinhos

A958s Ávila, Mylla Crysthyan Ribeiro.

Seletividade inicial de mesotrione em diferentes modalidades de aplicação para a cultura do milho doce. / Mylla Crysthyan Ribeiro Ávila. – Morrinhos, GO: IF Goiano, 2017.

50 f. : il.

Orientador: Dr. Sidnei Douglas Cavalieri.

Co-orientador: Dr. Emerson Trogello.

Trabalho de conclusão de curso (mestrado) – Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Olericultura, 2017.

1. *Zea mays* L. 2. Fitointoxicação. 3. Herbicida. I. Cavalieri, Sidnei Douglas. II. Trogello, Emerson. III. Instituto Federal Goiano. Mestrado Profissional em Olericultura. IV. Título

CDU 633.15


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA

SELETIVIDADE INICIAL DE MESOTRIONE EM
DIFERENTES MODALIDADES DE APLICAÇÃO PARA A
CULTURA DO MILHO DOCE


Autora: Mylla Crysthyan Ribeiro Àvila
Orientador: Sidnei Douglas Cavalieri

TITULAÇÃO: Mestre em Olericultura-Área de Concentração Manejo
Fitossanitário em Olerícolas.

APROVADA em 21 de fevereiro de 2017.


Prof. Dr. Sidnei Douglas Cavalieri
Presidente da Banca


Prof.ª. Dr.ª. Clarice Aparecida Megguer
Avaliadora Interna
IF Goiano – Campus Morrinhos


Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz
Avaliador Externo
Universidade de Rio Verde - UniRV

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por me iluminar e me conduzir até esse momento, proporcionando-me força e sabedoria para enfrentar todas as dificuldades que a mim são confiadas.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Morrinhos e ao programa de pós-graduação em Olericultura pela excelente formação profissional a mim proporcionada por meio deste curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela ajuda financeira por meio da bolsa de estudos disponibilizada.

Ao professor Dr. Sidnei Douglas Cavalieri, pela oportunidade, confiança, orientação, e valiosos ensinamentos científicos e profissionais.

Aos meus pais, Gláucio Ávila de Souza e Almeire Maria Ribeiro pelo apoio e amor dedicado a mim.

À minha madrasta Cristina Ferreira Ávila, minhas irmãs Raquel Ferreira Ávila e Amanda Ferreira Ávila pelo apoio e carinho durante minha caminhada.

Aos meus primos Dênia Flávia Lima e Lucas Lima por cederem materiais e produtos necessários para a condução do ensaio.

Aos meus familiares, avós e tios por acreditarem em meu potencial e pelo amor a mim dedicado.

Aos amigos Thayssa Monize Rosa de Oliveira, Lorena Natácia Lopes, Cristiane Mendes de Campos, Laysla Morais Coelho e Breno Junqueira Melo, pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos Serafim Martins da Cunha Filho e Mateus Felipe Gonçalves pela amizade e auxílio na condução do experimento.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma cooperaram para o planejamento e execução deste trabalho.

Muito Obrigada!

BIOGRAFIA DO AUTOR

MYLLA CRYSTHYAN RIBEIRO ÁVILA, filha de Gláucio Ávila de Souza e Almeire Maria Ribeiro, nascida em Montes Claros de Goiás, Goiás, aos vinte e um dias do mês de janeiro de 1991.

Em fevereiro de 2009, iniciou o Curso de Agronomia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Unidade Universitária de Ipameri-GO. Durante a graduação participou de diversos projetos de pesquisa na área de Melhoramento Vegetal, sob a orientação do professor Fabrício Rodrigues, sendo bolsista de iniciação científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) no período de agosto de 2011 até julho de 2012. Graduiu-se em Agronomia em 20 de dezembro de 2013.

Em agosto de 2015, iniciou o curso de Pós-graduação em Olericultura em nível de Mestrado, área de concentração em Ciências Agrárias, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Morrinhos.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Referências Bibliográficas	11
3. CAPÍTULO I	16
SELETIVIDADE INICIAL DE MESOTRIONE EM DIFERENTES MODALIDADES DE APLICAÇÃO PARA A CULTURA DO MILHO DOCE.....	16
3.1 Introdução	18
3.2 Material e Métodos	20
3.3 Resultados e Discussão	23
3.4 Conclusão.....	30
3.5 Referências.....	31
ANEXOS	35

ÍNDICE DE TABELAS

Página

Tabela 1. Índice de avaliação e sua descrição de fitointoxicação, segundo escala (EWRC, 1964).	36
Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis-resposta altura de plantas relativa (%), diâmetro de colmo relativo (%), índice SPAD relativo (%) e massa seca da parte aérea (g) de plantas de milho doce híbrido Tropical Plus em resposta a dosagens crescentes de mesotrione em diferentes modalidades de aplicação. Morrinhos-GO, 2016.	36
Tabela 3. Altura relativa (%) de plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus) aos 21 dias após a aplicação (DAA) de dosagens crescentes do herbicida mesotrione em diferentes épocas de aplicação (pré-emergência – pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6). Morrinhos-GO, 2016.	37
Tabela 4. Diâmetro de colmo relativo (%) de plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus) aos 14 dias após a aplicação (DAA) de dosagens crescentes do herbicida mesotrione em diferentes épocas de aplicação (pré-emergência - pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6). Morrinhos-GO, 2016.	37
Tabela 5. Diâmetro de colmo relativo (%) de plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus) aos 21 dias após a aplicação (DAA) de dosagens crescentes do herbicida mesotrione em diferentes épocas de aplicação (pré-emergência - pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência – estágio V6). Morrinhos-GO, 2016.....	38

Tabela 6. Índice SPAD relativo (%) de plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus) aos 10 dias após a aplicação (DAA) de dosagens crescentes do herbicida mesotrione em diferentes épocas de aplicação (pré-emergência – pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência – estágio V6). Morrinhos-GO, 2016..... 38

RESUMO

ÁVILA, MYLLA CRYSTHYAN RIBEIRO. Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos-GO, fevereiro de 2017. **Seletividade inicial de mesotrione em diferentes modalidades de aplicação para a cultura do milho doce.** Orientador Sidnei Douglas Cavalieri, Co-orientador Emerson Trogello.

O milho doce é classificado como olerícola devido ao alto valor agregado, ao cultivo intensivo e destinação exclusiva para consumo humano, sendo uma hortaliça voltada para o processamento industrial. O Brasil apresenta elevado potencial para produção de milho doce e diferentemente do milho comum ainda há escassez de informações técnicas relacionadas ao seu cultivo. A interferência de plantas daninhas se enquadra como fator de grande importância ao cultivo de milho doce, podendo causar prejuízos em produtividade e qualidade. A cultura do milho doce pode apresentar variáveis níveis de tolerância ao tratamento com mesotrione, decorrentes da aplicação de dosagens crescentes do herbicida e dos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Devido à falta de informações relacionadas à seletividade de herbicidas para a cultura do milho doce, objetivou-se com este trabalho avaliar, por meio de curvas de dosagem-reposta, a seletividade do herbicida mesotrione ao milho doce pulverizado em diferentes modalidades de aplicação. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área experimental do Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Campus Morrinhos - GO. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 5x3, com cinco repetições. Os fatores foram constituídos por cinco dosagens de mesotrione (0, 72, 144 - dosagem recomendada, 288 e 576 g ha⁻¹) e três épocas de aplicação do herbicida (pré-emergência - pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6), totalizando 15 tratamentos. As avaliações de intoxicação, clorofila (índice

SPAD), crescimento e biomassa de parte aérea das plantas foram realizadas de forma a estudar os efeitos do mesotrione na cultura. Não foi observada interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores avaliados (épocas de aplicação e dosagens do herbicida) no presente estudo. Em média, houve efeito significativo para épocas de aplicação dependendo da variável-resposta. O mesotrione apresenta seletividade à cultura do milho doce híbrido Tropical Plus até quatro vezes a dosagem recomendada do herbicida ($4 \times 144 \text{ g ha}^{-1}$) ou (576 g ha^{-1}) tanto em aplicações em pré-emergência quanto em pós-emergência (estádios V3 e V6).

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L. grupo saccharata, fitointoxicação, herbicida, inibidor de carotenoides, época de aplicação

ABSTRACT

ÁVILA, MYLLA CRYSTHYAN RIBEIRO. Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos-GO, February, 2017. **Initial selectivity of mesotrione in different application modalities to sweet corn.** Advisor Dr. Sidnei Douglas Cavalieri, Co-advisor Dr. Emerson Trogello.

Sweet corn is classified as a vegetable crop due to the high value it adds, to intensive cultivation and exclusive destination to human consumption, it is a vegetable for industry processing. Brazil has a high potential for sweet corn production and unlike common corn there is still a lack of technical information related to your cultivation. The interference of weeds is a factor of great importance to the cultivation of sweet corn, which can cause damages in yield and quality. The sweet corn may present varying levels of tolerance to mesotrione treatment, resulting from the application of increasing dosages and different growth stages of the crop. Due to the lack of information concerning herbicide selectivity in sweet corn, the aim of this work was at evaluate the selectivity of the herbicide mesotrione to sweet corn, by dose-response curves, sprayed in different application modalities. The experiment was conducted in a greenhouse in the experimental area of Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Campus Morrinhos - GO. The experimental design was a randomized complete blocks, in factorial scheme 5x3, with five replications. The factors were constituted by five dosages of mesotrione (0, 72, 144 – recommended dosage, 288 and 576 g ha⁻¹) and three periods of application of the herbicide (pre-emergence - post-sowing, post-emergence - V3 and post-emergence - V6), with 15 treatments in total. The evaluations of intoxication, chlorophyll (SPAD index), growth and biomass of the aerial part of the

plants were carried out in order to study the effects of mesotrione on the crop. No relevant interaction was detected in the study ($p < 0,05$) between the assessed factors (periods of application and herbicides dosages). On average, there was a relevant effect to the periods of application depending on the response variable. Mesotrione is selective to Tropical Plus hybrid sweet corn up to four times the recommended dosage of the herbicide ($4 \times 144 \text{ g ha}^{-1}$) or (576 g ha^{-1}) both in pre-emergence and post-emergence applications (V3 and V6 growth stages).

KEYWORDS: *Zea mays* L. group saccharata, phytointoxication, herbicide, carotenoid inhibitor, periods of application

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho doce (*Zea mays* L. grupo saccharata), classificado como um tipo especial de milho é uma hortaliça voltada para o processamento industrial. Esse seguimento tem crescido nos últimos anos, visando atender o mercado interno e principalmente alavancar a exportação. Entretanto, necessita de investimento em pesquisa, principalmente relacionado ao manejo da cultura, para que o máximo potencial produtivo seja expressado, podendo assim ser produzido em maior escala para atender a demanda de mercado (Borin et al., 2010).

Uma das grandes preocupações da agricultura atual está voltada para os prejuízos causados por plantas daninhas na lavoura. Esses prejuízos ocorrem, principalmente, devido aos efeitos causados pela competição por água, luz, nutrientes, CO₂ e espaço e pela capacidade de produzirem compostos alelopáticos prejudiciais ao desenvolvimento da cultura de interesse. Além dos prejuízos diretos, essas plantas atuam como hospedeiras de insetos-praga e patógenos, reduzem a eficiência agrícola, aumentam os custos de produção e diminuem a qualidade do produto, reduzindo o seu valor comercial (Vasconcelos, 2012).

O manejo de plantas daninhas é um importante componente do custo de produção do milho doce. O controle químico, por meio da aplicação de herbicidas, tem demonstrado maior sucesso e, portanto, sendo considerado como o mais viável. Para ser utilizado nessa cultura, é necessário que o herbicida apresente seletividade, caso contrário, sintomas de fitointoxicação podem ocorrer prejudicando a produtividade da lavoura (Timossi et al., 2011).

Williams (2010) relata que as plantas daninhas podem gerar perdas de produtividade em lavouras de milho doce mesmo em baixas densidades. Segundo Williams (2006) a cultura do milho doce pode apresentar diferentes níveis de

sensibilidade quando submetido à aplicação de herbicidas registrados para milho comum, podendo variar conforme a dosagem do herbicida, estágio fenológico e cultivar.

O mesotrione é um dos mais efetivos herbicidas desenvolvidos para o controle de uma ampla gama de plantas daninhas que infestam campos de milho comum. Em uma série de estudos científicos relacionados ao controle de plantas daninhas foram identificados variados níveis de tolerância em cultivares de milho doce. Provavelmente as diferenças quanto ao nível de sensibilidade seja decorrente das diferentes formas de absorção e metabolismo do mesotrione na planta. Todavia, segundo Ogliari et al. (2009) a tolerância à aplicação do herbicida mesotrione está relacionada à capacidade da cultura de metabolizar rapidamente o herbicida ocasionando menores níveis de injúrias se comparadas a cultivares mais sensíveis.

Considerando a importância da cultura do milho doce e que a seletividade de herbicidas é a base para o sucesso do controle químico de plantas daninhas na produção agrícola, estudos direcionados à prospecção de herbicidas que sejam seletivos à cultura do milho doce são de fundamental importância. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar, por meio de curvas de dosagem-resposta, a seletividade do herbicida mesotrione ao milho doce em diferentes épocas de aplicação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A espécie *Zea mays* possui uma enorme variabilidade genética para a composição do endosperma e parte dessa variabilidade tem sido explorada pelo homem dando origem a diferentes tipos de milho. A produção de milho possui diversas finalidades, uma vez que apresenta usos e tipos especiais. Entre os tipos de milho especiais, pode-se citar o milho doce, o milho branco e o milho pipoca (Teixeira et al., 2013).

O milho doce (*Zea mays* L. grupo *saccharata*) pertence à família Poacea (Graminea), tribo *Maydeae*, do gênero *Zea*. Originário da América, provavelmente da região onde se situa o México, foi domesticado em um período entre 7.000 e 10.000 anos atrás. A botânica e a reprodução do milho doce são idênticas as do milho comum, caracterizando-se como planta anual, de propagação sexuada, sendo cultivada em campo (Pereira Filho e Teixeira, 2016).

O milho doce é uma hortaliça de elevada importância econômica a nível mundial. A área cultivada corresponde a 1.125.916 hectares, com produção de 9.764.006 toneladas de espigas e produtividade média de 8,6 toneladas por hectare. Os maiores produtores são Estados Unidos, México, Nigéria, Indonésia, Hungria, França, África do Sul e Peru (FAO, 2014).

No Brasil, cultivam-se ao redor 36 mil ha de milho doce, e praticamente 100% da produção é destinada ao processamento industrial para consumo humano, movimentando em torno de R\$ 550 milhões por ano, razão pela qual é chamado também de milho especial. A produção está concentrada no Estado de Goiás, que se destaca como o maior produtor, com 28.000 ha, seguido de São Paulo com 4.000 ha, Rio Grande do Sul, com 3.000 ha e Minas Gerais, com 1.000 ha (Pereira Filho e Teixeira, 2016).

O milho doce é caracterizado por ter grãos com elevados teores de açúcares e pouco amido no endosperma. Enquanto o milho comum apresenta em torno de 3% de açúcar e entre 60 e 70% de amido, o milho doce tem em torno de 9 a 14% de açúcar e 30 a 35% de amido, e o superdoce tem em torno de 25% de açúcar e 15 a 25% de amido (Pereira Filho et al., 2003).

O caráter adocicado do grão é decorrente da presença de genes mutantes recessivos que atuam na síntese de carboidratos impedindo a conversão do açúcar em amido. Tais genes podem atuar de forma simples ou em combinações duplas ou triplas, sendo divididos em quatro tipos básicos: *sugary* (su), *sugary enhancer* (se), *brittle* (bt2) e *shrunk-2* (sh2) (Faria, 2013).

Grande parte dos híbridos utilizados no Brasil contém o alelo sh2, por propiciar maior período de colheita, ocasionada pelo alto potencial osmótico (conferido pela alta concentração de açúcar) e, conseqüentemente, pela perda de água dos grãos de plantas dos genótipos ser mais lenta. Em contrapartida, a cristalização de açúcares no endosperma e a formação de espaços internos entre a camada de aleurona e o pericarpo das sementes fazem com que elas apresentem aspecto enrugado, o que torna o pericarpo frágil e, conseqüentemente, suscetível a danos físicos e à entrada de patógenos. O baixo teor de amido contido nessas sementes implica em perda do vigor e baixa germinação (Araújo et al., 2006).

O cultivo do milho doce apresenta algumas características que o classifica como uma hortaliça. O cultivo é intensivo em pequenas áreas, geralmente sob irrigação e com alto investimento em tecnologia, e as espigas são colhidas *in natura* com aproximadamente 75% de umidade. Além disso, é um produto destinado exclusivamente para o consumo humano e de alto valor agregado. Essa hortaliça é empregada em escala comercial como conserva ou para ser consumida *in natura* ou como milho verde debulhado e congelado ou colhido antes da polinização e usado como minimilho (Maggio, 2006). O Brasil como um grande produtor de milho comum, apresenta grande potencial para a produção de milho doce possibilitando a expansão de novos mercados (Paiva, 2014).

Grande parte da produção de milho doce nacional é direcionada para a indústria de conservas por meio de contratos realizados diretamente com os produtores. A produção durante todo o ano é possível com o uso de irrigação e o escalonamento da produção permite um fluxo constante do produto para a comercialização, o que torna as

indústrias extremamente competitivas no cenário nacional e internacional (Barbieri, 2010).

Apesar do crescimento gradual ocorrido nos últimos anos dentro do segmento de industrialização do milho doce o mesmo não ocorreu com as pesquisas, principalmente relacionado ao manejo da cultura. Alguns dos fatores que contribuem para que o consumo de milho doce no país não seja muito expressivo é a pequena quantidade de genótipos adaptados para condições tropicais, bem como o reduzido número de genótipos adequados à comercialização (Paiva, 2014).

A crescente demanda junto a novos padrões de consumo, resultantes do comportamento de um mercado consumidor cada vez mais exigente quanto às características de qualidade, leva as indústrias de milho doce em conserva a atender tal mercado. Assim, muitas empresas alimentícias, visando oferecer um milho verde em conserva ao consumidor, que satisfaça as exigências relacionadas ao paladar, estão trocando o milho verde obtido do milho comum pelo milho doce (Kwiatkowski e Clemente, 2007).

Primeiramente, deve ser considerado que o milho doce é uma hortaliça e, como tal, possui caracteres relacionados à qualidade e aos aspectos agronômicos com maior influência na aceitação comercial do que o milho comum. Por essa razão, pelos elevados custos de produção e por atender a mercados diferenciados em relação ao milho comum o produtor de milho doce tem diversas exigências, entre elas algumas relacionadas ao desempenho agronômico, tais como: produtividade de espigas superior a 12 ton ha⁻¹; tolerância às doenças e aos insetos-praga; ciclo entre 90 e 110 dias; uniformidade de maturação de espigas; índice de espiga igual a um; resistência ao acamamento e quebramento de plantas; plantas de porte médio; e bom empalhamento (Teixeira et al., 2009).

Apesar de o agricultor estar sempre buscando ajustar os fatores de produção com o objetivo de produzir cada vez mais, na atividade agroindustrial é importante também considerar as necessidades do processamento na fábrica. Altas produtividades não necessariamente resultam em espigas adequadas para a indústria (Barbieri et al., 2005; Maggio, 2006).

As características requeridas para a industrialização do milho doce são a uniformidade na altura das plantas e espigas, características essas que podem facilitar a colheita mecanizada; uniformidade no teor de umidade nos grãos, que auxilia na palatabilidade do produto e na manutenção do sabor; espigas maiores, em torno de 20

cm de comprimento e grãos longos devido a maior eficiência das máquinas desgranadoras para retirada de grãos inteiros; alta produção de grãos por espiga, característica essa diretamente relacionada ao rendimento industrial, onde 100 kg de espigas empalhadas devem originar 30 kg de grãos enlatados, para caracterizar um bom rendimento e, a textura dos grãos deve ser uniforme e apresentar-se com pericarpo fino (Kwiatkowski e Clemente, 2007).

A textura do pericarpo é fator primário na determinação da qualidade do milho doce. Cultivares de milho doce tendem a apresentar espessamento do pericarpo no decorrer da maturação, em maior ou menor proporção, característica essa que reafirma a importância de realizar a colheita em ponto ideal de maturação. Com relação ao consumidor, a característica mais exigida é o grão ainda com pericarpo fino, o que garantirá maior maciez do grão (Kwiatkowski e Clemente, 2007).

Os fatores de produção envolvidos no cultivo de milho doce estão diretamente relacionados à qualidade do produto final. O controle de plantas daninhas representa um dos principais componentes do custo de produção do milho doce, sendo sua realização indispensável para que a cultura possa expressar seu potencial produtivo. Manter a cultura do milho doce livre da interferência de plantas daninhas garantirá reais condições de obtenção de elevadas produtividades, principalmente levando-se em conta fatores de qualidade, tais como tamanho da espiga e enchimento de ponta (Williams e Rabaey, 2008).

Existem várias maneiras de se conceituar planta daninha, entre elas temos plantas que se desenvolvem em local indesejado. Para seu desenvolvimento necessitam dos mesmos fatores exigidos pela cultura, ou seja, água, luz, nutriente, CO₂ e espaço, estabelecendo um processo competitivo. O grau de interferência dessas plantas nas culturas agrícolas depende da comunidade infestante, de fatores ligados à cultura, do ambiente e do período de convivência. Essa interferência pode ocasionar prejuízos por danos diretos à cultura como por competição, alelopatia e perda de qualidade; e danos indiretos como hospedabilidade a insetos-praga e patógenos, impossibilitar a operacionalização da lavoura e aumentar o custo de produção (Vasconcelos, 2012).

Para a cultura do milho comum as perdas de produtividade devido à interferência de plantas daninhas variam entre 10 a 80% de acordo com as espécies de daninhas envolvidas, com a densidade de plantas, com o período de competição, com o estágio de desenvolvimento da cultura e com as condições edafoclimáticas (Vargas et al., 2006).

Estudando épocas de semeadura de milho doce no norte dos EUA e as suas implicações sobre o potencial de interferência das plantas daninhas para o híbrido GH0937, Williams (2006) observou que a interferência de plantas daninhas durante todo o ciclo resultou em 15% e 85% de perda de produtividade de espigas de milho doce quando a cultura foi semeada nos meses de junho e maio, respectivamente. A variação no desenvolvimento do dossel do milho doce influencia a capacidade de suportar o estresse competitivo e suprimir as plantas daninhas.

Borges (2016) avaliando o controle químico de plantas daninhas e a seletividade à cultura do milho doce híbrido Tropical Plus observou que o grau de infestação e a agressividade das espécies de plantas daninhas presentes no experimento não foram suficientes para reduzir a produtividade de espigas com palha e a produtividade de grãos do milho doce. O autor relata que não houve diferença estatística entre a testemunha capinada e a testemunha sem capina para as duas variáveis relacionadas à produtividade, o que sugere que o controle cultural das plantas daninhas proporcionado pelas plantas de milho doce foi suficiente para a cultura expressar o seu potencial produtivo.

Levando-se em conta vários aspectos relacionados à cadeia produtiva, o controle químico de plantas daninhas, por meio da aplicação de herbicidas, tem demonstrado maior sucesso e, portanto, sendo o mais viável (Timossi et al., 2011). Segundo Cavalieri (2010) herbicidas são compostos químicos desenvolvidos para bloquear ou alterar de forma parcial, rotas metabólicas específicas e vitais às plantas, promovendo grandes alterações no seu crescimento e desenvolvimento. Em sistemas agrícolas, os herbicidas podem interagir tanto com plantas daninhas quanto com as plantas cultivadas e essa interação pode ser por meio de sub-dosagens, dosagens normais e dosagens acima da tolerável.

A utilização de herbicidas é fundamental para manejo de plantas daninhas principalmente em locais em que ocorrem altas infestações e o tempo disponível para controle é reduzido devido ao tamanho da área ou à falta de equipamentos com capacidade operacional satisfatória. Em grandes lavouras de milho o controle químico aparece como o único método viável (Vargas et al., 2006).

O método de controle químico se destaca pela eficiência, rapidez e baixo custo, contudo, a eficácia de herbicidas é variável conforme a molécula e dependente das condições ambientais, da época de aplicação e da espécie infestante a ser controlada (Jakelaitis et al., 2005). No entanto, no Brasil não há registro de herbicidas para a

cultura do milho doce e a modalidade de aplicação e suas respectivas dosagens utilizadas têm sido os mesmos recomendados para o milho comum, salientando-se que o milho doce pode ser mais sensível a fitointoxicação (Magnavaca et al., 1990).

Um dos grandes entraves do controle químico de plantas daninhas está associado à seletividade dos herbicidas. Níveis diferenciados de sensibilidade de plantas de milho têm sido observados, resultando em maior ou menor segurança na utilização dos herbicidas. Estádio de desenvolvimento das plantas, morfologia, absorção, translocação, condições ambientais, época de aplicação e metabolismo são importantes fatores na determinação da seletividade de herbicidas (Karam e Oliveira, 2007).

A seletividade dos herbicidas para a cultura é a base para o sucesso do controle químico de plantas daninhas na produção agrícola. O nível de tolerância das culturas a um tratamento específico determina a seletividade, uma vez que quanto maior a diferença de tolerância entre cultura e planta daninha, maior segurança no uso da tecnologia dos herbicidas (Velini et al., 1992).

Segundo Oliveira Jr. et al. (2011) a seletividade é analisada por meio de índices de intoxicação notados na cultura. A análise da fitointoxicação é baseada em alterações na coloração das plantas resultando em queda na produtividade da cultura comparada com as plantas da testemunha sem aplicação. Quanto maior a tolerância da cultura e do híbrido utilizado em relação ao herbicida, maior é a segurança da aplicação.

Entre os fatores que determinam a seletividade destacam-se os relacionados às características do herbicida ou ao método de aplicação, como dosagem, formulação, localização espacial ou temporal do herbicida em relação à planta, bem como fatores relacionados às características das plantas, como seletividade associada à retenção e à absorção diferencial, a seletividade associada à translocação diferencial e seletividade associada ao metabolismo diferencial (Oliveira Jr. et al., 2011).

Na busca por moléculas que causassem menor impacto ao meio ambiente para desenvolvimento de novos herbicidas, tendo eficácia agrônômica e seletividade semelhante aos já existentes, em 1977 durante uma pesquisa com a espécie *Callistemon citrinus*, cientistas da empresa Syngenta isolaram um aleloquímico secretado pela planta, essa substância química foi denominada leptospermone e sintetizada em laboratório assim como vários outros compostos análogos, desenvolvendo-se assim o herbicida mesotrione (Furtado, 2004).

O mesotrione atua bloqueando a atividade de 4-hidroxifenil-piruvato dioxigenase (HPPD), enzima de função essencial para a planta. Atua na rota metabólica

da biossíntese de plastoquinona, requerida na biossíntese de carotenoides. A enzima HPPD catalisa a conversão de uma molécula de 4-hidroxifenil-piruvato a uma molécula de homogentisato, precursor de plastoquinona. Plastoquinona, por sua vez, é cofator da enzima fitoeno desaturase que catalisa a conversão do fitoeno em fitoflueno, o qual é precursor de carotenoides. Como a biossíntese de carotenoides é inibida, há perda de proteção das clorofilas, as quais são foto-oxidadas e, assim, ocorre degradação das clorofilas já produzidas. Com isso, há acúmulo de fitoeno, predominantemente, nos tecidos foliares, o qual é precursor, sem cor do caroteno; e, assim, a planta produz tecidos foliares albinos normais, exceto pela falta de clorofilas e carotenoides (Carvalho, 2013).

É um herbicida sistêmico seletivo utilizado no controle em pós-emergência das plantas daninhas na cultura de milho. É rapidamente absorvido pelas raízes e folhas das plantas infestantes, apresentando excelente movimentação na planta por meio do xilema e floema, sendo que de 70 a 80% do herbicida é absorvido em até 6 horas. Os sintomas consistem em branqueamento, principalmente das folhas mais jovens, nos primeiros 3 a 7 dias após a aplicação, com posterior necrose e morte dos tecidos vegetais em cerca de 1 a 2 semanas (Green e Willians, 2004).

O herbicida mesotrione destaca-se pelo seu amplo espectro de controle das plantas infestantes anuais de folhas largas e determinadas gramíneas. Em geral as plantas daninhas demonstram maior sensibilidade ao herbicida no estágio inicial de desenvolvimento. Na cultura do milho, seu uso é indicado nos cultivos de variedades e híbridos comerciais, no sistema de plantio convencional e no sistema de plantio direto (Rodrigues e Almeida, 2011).

As dosagens recomendadas de mesotrione para milho comum no Brasil variam de 144 a 192 g ha⁻¹, sendo a maior dosagem recomendada para plantas daninhas em estágio mais avançado de desenvolvimento (Rodrigues e Almeida, 2011). Com relação à sua mobilidade no ambiente, evidências experimentais demonstram que a volatilização é inferior a 10% e que seu potencial de lixiviação é baixo. De acordo com Chaabane et al. (2008), a degradabilidade do mesotrione está diretamente relacionada à sua sorção ao solo que, por sua vez, é dependente do pH e do teor de matéria orgânica.

A aplicação deve ocorrer em pós-emergência da cultura do milho e das plantas daninhas, quando a cultura apresentar 2 a 6 folhas e entre 10 a 25 cm de altura. O mesotrione é recomendado para o controle de plantas daninhas no estágio de 2 a 4 folhas no caso das dicotiledôneas e até 1 perfilho para as gramíneas. Dependendo das

condições e qualidade de aplicação do herbicida, uma única aplicação na grande maioria das vezes é suficiente para o controle das plantas daninhas durante todo o ciclo da cultura do milho (Rodrigues e Almeida, 2011).

O milho é tolerante ao mesotrione devido à sua alta capacidade de metabolizar rapidamente o herbicida, produzindo metabólitos sem atividade tóxica. Resultados obtidos por Ogliari et al. (2009) fornecem fortes evidências de uma participação importante das bombas H^+ nos mecanismos de desintoxicação do herbicida mesotrione em plantas de milho. No estudo o tratamento com mesotrione promoveu elevada estimulação da atividade hidrolítica da H^+ -pyrophosphatase (H^+ -PPase), principalmente nos estádios iniciais do tratamento, em todos os tecidos analisados nos diferentes estádios do desenvolvimento das plantas, indicando ser essa a principal bomba de prótons envolvida nas respostas de tolerância do milho à aplicação desse herbicida. Apesar disso é importante promover estudos mais aprofundados que revelem as bases bioquímicas e moleculares da desintoxicação do mesotrione em plantas de milho.

A desintoxicação é um processo variável e está relacionada a vários fatores como espécie tratada, genótipo, estádio de desenvolvimento da cultura e modalidade de aplicação. Alguns materiais se comparados ao milho comum podem apresentar reação moderada ao produto, principalmente híbridos ou variedades de milho doce e milho pipoca. Em casos de fitointoxicação à cultura o mesotrione causa sintomas de branqueamento nas folhas devido à degradação oxidativa da clorofila (Grossmann e Ehrhardt, 2007).

O herbicida mesotrione possui registro para a cultura do milho doce nos Estados Unidos, que ao contrário do Brasil possui um amplo portfólio de moléculas para controle químico de plantas daninhas na cultura. Quando descoberto foi introduzido no mercado com uma nova ferramenta de manejo, principalmente como alternativa para recorrer às resistências adquiridas por plantas daninhas para determinados mecanismos de ação (Sutton et al., 2002). Em regiões de ocorrência de plantas daninhas resistentes ao herbicida atrazine, como *Amaranthus retroflexus* e *Chenopodium album*, o mesotrione é um herbicida alternativo para o controle desses biótipos (O'Sullivan et al., 2002).

Apesar de todo o potencial de utilização do mesotrione, em algumas situações de campo, podem ser observados sintomas de intoxicação nas plantas de milho após a aplicação desse herbicida. Estudos realizados por Furtado (2004) constataram efeitos de fitotoxicidade visuais não significativos em plantas de milho das cultivares BRS 1030,

BRS 2020 e BRS 3123. Já trabalhos realizados por O'Sullivan (2002) com cultivares de milho doce, o mesotrione causou injúrias na modalidade de aplicação em pós-emergência com plantas apresentando sintomas de clorose.

Diante disso, o estudo da seletividade do herbicida mesotrione à cultura do milho doce torna-se de grande importância. Assim, pesquisas são necessárias para verificar se diferentes modalidades e dosagens de aplicação são seguras para determinadas cultivares de milho doce. Esses dados são de grande importância para garantir informações necessárias para que o herbicida passe a ter registro específico em milho doce.

2.1 Referências Bibliográficas

Araújo, E.F.; Araújo, R.F.; Sofiatti, V.; Silva, R.F. Qualidade fisiológica de sementes de milho-doce colhidas em diferentes épocas. **Bragantia**, v.65, n.4, p.687-692, 2006.

Barbieri, V.H.B. **Mapeamento de QTL em testecrosses de milho doce com diferentes testadores e ambientes**. 2010. 129 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.

Barbieri, V.H.B.; Luz, J.M.Q.; Brito, C.H.; Duarte, J.M.; Gomes, L. S.; Santana, D.G. Produtividade e rendimento industrial de híbridos de milho doce em função de espaçamento e populações de plantas. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.826-830, 2005.

Borges, J.E.S. **Controle químico de plantas daninhas e seletividade à cultura do milho doce híbrido Tropical Plus**. 2016. 32 f. Dissertação (Mestrado em Olericultura) - Instituto Federal Goiano, Morrinhos, 2016.

Borin, A.L.D.C.; Lana, R.M.Q.; Pereira, H.S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.1591-1597, 2010.

Carvalho, L.B. Dinâmica fisiológica. In: **Herbicidas**. 1ª Edição / Edição do autor, Lages, SC, 2013. Cap.4, p. 21-50.

Cavalieri, S.D. **Influência do glyphosate em cultivares de soja RR e do herbicida nicosulfuron aplicado em híbridos de milho-pipoca em três estádios de desenvolvimento**. 2010. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2010.

Chaabane, H.; Vulliet, E.; Calvayrac, C.; Coste, C.M.; Cooper, J.F. Behavior of sulcotrione and mesotrione in two soils. **Pest Management Science**, v.64, n.1, p.86-93, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations. FAOSTAT - **Statistical Yearbook of indicators on food and agriculture**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org.br>>. Acesso em: nov. 2016.

Faria, F.V.C. **Top crosses de linhagens S2 de milho *shrunken-2* em função da endogamia do testador**. 2013. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

Furtado, D.A.S. **Seletividade e eficácia agronômica do herbicida mesotrione na cultura do milho**. 2004. 68f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

Green, J.M.; Williams, M.E. Correlation of corn (*Zea mays* L.) inbred response to nicosulfuron and Mesotrione. In: Meeting, Weed Science Society, **Anais: Weed Science Society**, 2004, p.31-33.

Grossmann K.; Ehrhardt T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topamezone: a new inhibitor of 4- hydroxyphenyl-pyruvate dioxygenase. **Pest Management Science**, v.63, n.3, p.429-439, 2007.

Jakelaitis, A.; Silva, A.F.; Silva, A.A.; Ferreira, L.R.; Vivian, R. Controle de plantas daninhas na cultura do milho-pipoca com herbicidas aplicados em pós-emergência. **Planta Daninha**, v.23, n.3, p.509-516, 2005.

Karam, D.; Oliveira, M.F. **Seletividade de herbicidas na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, (Circular técnica, 98), p.8, 2007.

Kwiatkowski, A; Clemente, E. Características do milho doce (*Zea mays*) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.1, n.2: p.93-103, 2007.

Maggio, M.A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido “tropical”**. 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2006.

Magnavaca, R.; Reifschneider, F.J.B.; Boas, G.L.V. **Milho doce**. Informe Agropecuário, v.14, n.165, p.17-22, 1990.

Ogliari J.; Freitas, S.P.; Ramos, A.C.; Bressan-Smith, R.E.; Façanha, A.R. Proton transport primary systems used as mechanisms of mesotrione detoxification in corn plants. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.799-807, 2009.

Oliveira JR, R.S.; Constantin, J.; Inoue, M.H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Omnipax. Curitiba, PR, 2011, Cap.10, p.244-262.

O’Sullivan, J.; Zandstra, J.; Sikkema, P. Sweet corn (*Zea mays*) cultivar sensitivity to mesotrione. **Weed Technology**, v.16, n.2, p.421-425, 2002.

Paiva, A.M. **Cruzamentos entre linhagens tropicais de milho doce e testadores com introgressão de germoplasma temperado**. 2014. 64 f. Dissertação: (Mestrado em Agronomia – Horticultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2014.

Pereira Filho, I.A.; Cruz, C.D.; Gama, E.E.G. Cultivares para o consumo verde. In: **O cultivo do milho verde**. Brasília: Embrapa, 2003. Cap.1, p.17-30.

Pereira Filho, I.A.; Teixeira, F.F. **O cultivo do milho-doce**. EMBRAPA. Brasília, DF. 2016. 298p.

Rodrigues, B.N.; Almeida, F.S. **Guia de Herbicidas**. 6ª ed. Londrina, PR: Edição dos autores. 2011. 697p.

Sutton, P.; Richards, C.; Buren, L.; Glasgow, L. Activity of mesotrione on resistant weeds in maize. **Pest Management Science** v.58, p.981–984. 2002.

Teixeira, F.F.; Gama, E.E.G.; Costa, F.M. **Aspectos agronômicos e de qualidade de espiga em famílias endogâmicas de milho doce**. Circular técnica 121. Mapa, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. 2009. p.6.

Teixeira, F.F.; Miranda, R.A.; Paes, M.C.D.; Souza, S.M.; Gama, E.E.G. **Melhoramento do milho doce**. Documento 154: Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2013, p.32.

Timossi, P.C.; Freitas, T.T. Eficácia de nicosulfuron isolado e associado com atrazine no manejo de plantas daninhas em milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.3, p.210-218, 2011.

Vargas, L.; Peixoto, C.M.; Roman, E.S. In: Manejo de plantas daninhas na cultura de milho. **Controle de plantas daninhas na cultura do milho**. EMBRAPA Trigo. Ministério de Agricultura, pecuária e Abastecimento. 2006. p.26-38.

Vasconcelos, M.C.C.; Silva, A.F.A.; Lima, R.S. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.8, n.1, p.1-6, 2012.

Velini, E.D.; Frederico, L.A.; Morelli, J.L.; Marubayashi, O.M. Avaliação dos efeitos do herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência inicial, sobre o crescimento e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* cv. SP 71-1406). **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.10, p.13-16, 1992.

Williams, M.M. Planting date influences critical period of weed control in sweet corn. **Weed Science**, v.54, p.928-933, 2006.

Williams, M.M.; Rabaey T.L. Residual weeds of sweet corn in the north central region. **Weed Technology**. V.22, p.646-653, 2008.

Williams, M.M. Biological Significance of Low Weed Population Densities on Sweet Corn. **Agronomy Journal**, v.102, p.464-468, 2010.

3. CAPÍTULO I

SELETIVIDADE INICIAL DE MESOTRIONE EM DIFERENTES MODALIDADES DE APLICAÇÃO PARA A CULTURA DO MILHO DOCE

INITIAL SELECTIVITY OF MESOTRIONE IN DIFFERENT APPLICATION MODALITIES TO SWEET CORN

(Normas de acordo com a Revista Brasileira de Herbicidas)

Resumo - No Brasil o controle químico de plantas daninhas em milho doce baseia-se em herbicidas registrados para milho comum. Objetivou-se com este trabalho avaliar, por meio de curvas de dosagem-reposta, a seletividade do herbicida mesotrione ao milho doce pulverizado em diferentes modalidades de aplicação. O presente trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação no delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 5x3, com cinco repetições. Os fatores foram constituídos por cinco dosagens de mesotrione (0, 72, 144 - dosagem recomendada, 288 e 576 g ha⁻¹) e três épocas de aplicação do herbicida (pré-emergência - pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6), totalizando 15 tratamentos. As avaliações foram realizadas de forma a estudar os efeitos do mesotrione relacionados à intoxicação, índice SPAD, crescimento e biomassa de parte aérea das plantas. Não foi observada interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores avaliados (épocas de aplicação e dosagens do herbicida) no presente estudo. Entretanto, houve efeito isolado do fator época de aplicação para a variável-resposta altura de plantas aos 21 dias após a

aplicação (DAA), diâmetro de colmo aos 14 e 21 DAA e índice SPAD aos 10 DAA. O mesotrione apresenta seletividade à cultura do milho doce híbrido Tropical Plus até quatro vezes a dosagem recomendada do herbicida ($4 \times 144 \text{ g ha}^{-1}$) ou (576 g ha^{-1}) tanto em aplicações em pré-emergência quanto em pós-emergência (estádios V3 e V6).

Palavras-chave: época de aplicação, fitointoxicação, herbicida, inibidor de carotenoides, *Zea mays* L. grupo saccharata

Abstract - In Brazil the chemical control of weeds in sweet corn uses herbicides registered for common corn. This study aimed at evaluate the selectivity of the herbicide mesotrione to sweet corn, by dosage-response curves, sprayed in different application modalities. The present work was conducted in a greenhouse in randomized blocks design (DRB), in factorial scheme 5x3, with five replications. The factors were constituted by five dosages of mesotrione (0, 72, 144 – recommended dosage, 288 and 576 g ha^{-1}) and three periods of application of the herbicide (pre-emergence - post-sowing, post-emergence - V3 and post-emergence - V6), with 15 treatments in total. Assessments were carried out so as to analyze the effects of mesotrione related to intoxication, SPAD index, growth and biomass of the aerial part of the plants. No relevant interaction was detected in the study ($p < 0,05$) between the assessed factors (periods of application and herbicide dosages). However there was an isolated effect regarding the periods of application factor and the response variable height of plants at 21 days after application (DAA), thatch diameter at 14 and 21 DAA and SPAD index at 10 DAA. Mesotrione is selective in Tropical Plus hybrid sweet corn up to four times the recommended dosage of the herbicide ($4 \times 144 \text{ g ha}^{-1}$) or (576 g ha^{-1}) both in pre-emergence and post-emergence applications (V3 and V6 growth stages).

Keywords: periods of application, phytointoxication, herbicide, carotenoid inhibitor, *Zea mays* L. group saccharata

3.1 Introdução

O milho doce (*Zea mays* L. grupo *saccharata*) pertencente à família das Poacea (Graminea), tribo *Maydeae* do gênero *Zea*, é classificado como um tipo especial de milho e considerado uma hortaliça (Nakagawa et al., 2012). O resultado de uma mutação espontânea do milho convencional resultou no milho doce que difere do milho comum pela presença de alelos que bloqueiam a conversão de açúcares em amido no endosperma, conferindo aos grãos alto teor de açúcares e baixo teor de amido (Zuchareli et al., 2012).

O milho doce é uma hortaliça de elevada importância econômica em nível mundial. No Brasil, cultivam-se ao redor 36 mil hectares de milho doce, e praticamente 100% da produção é destinada ao processamento industrial para consumo humano, com movimentação em torno de R\$ 550 milhões por ano, sendo que 90% da produção encontra-se concentrada em áreas agrícolas do Estado de Goiás (Barbieri, 2010).

O processamento industrial de milho doce tem aumentado nos últimos anos e a tendência é a manutenção do crescimento, visando o mercado interno e externo. Um dos fatores que não permitiram difundir mais rapidamente o consumo do milho doce entre os brasileiros foi a inexistência de cultivares adaptadas às condições tropicais. Alta tecnologia vem sendo empregada no cultivo do milho doce, o que requer cultivares produtivas, de qualidade e que atendam o padrão comercial e industrial (Pereira Filho e Teixeira, 2016).

Por ser uma hortaliça possui caracteres relacionados à qualidade e aos aspectos agrônômicos com maior influência na aceitação comercial do que o milho comum. O controle de plantas daninhas representa um dos principais componentes do custo de produção do milho doce e se apresenta totalmente necessário na cadeia produtiva da cultura já que mantê-la livre da interferência de plantas daninhas garantirá reais condições de produtividade principalmente levando-se em conta fatores de qualidade, tais como tamanho da espiga e enchimento de ponta (Williams e Rabaey, 2008).

Williams (2006) realizando estudos relacionados a diferentes épocas de semeadura de milho doce no norte dos EUA e a suas implicações sobre o potencial de interferência das plantas daninhas para o híbrido GH0937, observou que o período duração da interferência de plantas daninhas não foi constante entre as datas de

semeadura avaliadas, apresentando efeito significativo com relação à produtividade de milho doce. Quando semeado mais cedo o milho doce apresentou 5% de perda de produtividade aos 18 dias após a emergência, enquanto que para a semeadura tardia a mesma porcentagem de perda foi alcançada aos 53 dias após a emergência.

Dentre as alternativas de manejo de plantas daninhas em cultivos agrícolas destaca-se o controle químico por meio da aplicação de herbicidas, devido à eficácia, custo e capacidade operacional. A utilização e o sucesso do controle químico de plantas daninhas estão associados à seletividade dos herbicidas à cultura. A seletividade de herbicidas pode ser conceituada como a capacidade de uma determinada molécula de eliminar plantas daninhas que se encontram no mesmo ambiente da cultura sem causar danos fitotóxicos capazes de reduzir a produtividade e/ou prejudicar a qualidade do produto colhido (Velini et al. 1992).

Sem o registro específico de herbicidas para a cultura o milho doce tem se beneficiado de práticas de manejo desenvolvidas para utilização em milho comum. A cultura do milho doce pode apresentar diferentes níveis de sensibilidade quando submetido à aplicação de herbicidas registrados para milho comum, podendo variar conforme a dosagem do herbicida, estágio de desenvolvimento e cultivar (Williams, 2006).

Dentre os herbicidas registrados para a cultura do milho, encontra-se o mesotrione (2-(4-metil-2-nitrobenzoi) ciclohexano-1,3-diona), pertencente ao grupo químico das tricetonas. É classificado como herbicida seletivo, recomendado para aplicação em pós-emergência na cultura do milho. Caracterizado pelo seu amplo espectro de controle possui registro para dicotiledôneas como o caruru roxo (*Amaranthus hybridus*), apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), picão-preto (*Bidens pilosa*), corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), beldroega (*Portulaca oleracea*) e também monocotiledôneas como capim colchão (*Digitaria horizontalis*), capim amargoso (*Digitaria insularis*) e a trapoeraba (*Commelina benghalensis*) (Rodrigues e Almeida, 2011).

O seu mecanismo de ação consiste na inibição da biossíntese de carotenoides por meio da interferência na atividade da enzima HPPD (4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase) nos cloroplastos. Os sintomas de intoxicação observados envolvem o branqueamento das plantas sensíveis, com posterior necrose e morte dos tecidos vegetais. O milho apresenta tolerância ao mesotrione devido à sua capacidade de

metabolizar rapidamente o herbicida, produzindo metabólitos sem atividade tóxica (Karam et al. 2010).

A seletividade de um determinado herbicida a uma cultura não deve ser vista como algo completamente estável. De acordo com O' Sullivan (2002), que estudou a seletividade do herbicida mesotrione para cultivares de milho doce em diferentes épocas de aplicação, aplicações em pré-emergência do herbicida não causaram nenhum tipo de injúria a qualquer cultivar avaliada. Já para aplicação em pós-emergência todas as cultivares avaliadas apresentaram sintomas de fitointoxicação que aumentaram gradativamente em uma escala percentual de danos visuais conforme o crescente aumento da dosagem.

Apresentando um mecanismo de ação alternativo aos herbicidas tradicionalmente utilizados na cultura do milho, como atrazine e nicosulfuron, o mesotrione se torna uma importante ferramenta em programas de manejo integrado de plantas daninhas. Entretanto, a cultura do milho doce pode apresentar variáveis níveis de tolerância ao tratamento com mesotrione, decorrentes da aplicação de dosagens crescentes e dos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

Nesse contexto, diante dos poucos estudos acerca dos efeitos do herbicida mesotrione na cultura em condições tropicais e levando em consideração que a seletividade do herbicida pode variar em função da dosagem aplicada e do estágio fenológico das plantas no momento da aplicação, objetivou-se com este trabalho avaliar, por meio de curvas de dosagem resposta, a seletividade do mesotrione ao milho doce pulverizado em diferentes épocas de aplicação.

3.2 Material e Métodos

O presente trabalho foi conduzido no período de 21/06/2016 a 30/08/2016 em casa-de-vegetação na área experimental do Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Campus Morrinhos - GO (17°48'38''S, 49°12'15,3''O) a 850 m de altitude. Para a instalação do ensaio foram utilizadas amostras deformadas de um Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2013) de textura média franco arenosa com 67% de areia, 7% de silte e 26% de argila. A análise química apresentou pH em $\text{CaCl}_2 = 5,7$; Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , de 0,0; 2,6; 3,7; 1,1; e 0,18 cmolc dm^{-3} , respectivamente; $\text{P} = 14,5 \text{ mg dm}^{-3}$; e $\text{MO} = 24 \text{ g kg}^{-1}$.

O solo proveniente da camada de 0 a 0,2 m de profundidade foi peneirado em malha de 2 mm para separação de torrões, raízes e palha. Cada unidade experimental correspondeu a um vaso de polietileno preenchido com 5 dm³ de solo, previamente adubado conforme a análise química e a recomendação para a cultura. Os cálculos para adubação foram realizados relacionando o volume de solo contido no vaso com o volume de solo de um hectare, na profundidade de 0,2 m.

Optou-se pela utilização do híbrido simples Tropical Plus (Syngenta), que possui alto potencial produtivo na região, um híbrido simples, de característica superdoce, ideal para consumo in natura e processamento industrial. Seu ciclo varia de 90 a 110 dias, sendo colhido com 70 a 75% de umidade. Possui grãos macios e suculentos de coloração amarelo claro brilhante, que adequa o híbrido aos padrões da indústria de processamento.

Na semeadura foram utilizadas cinco sementes por vaso, a uma profundidade de aproximadamente 2 cm. As sementes foram previamente tratadas com abamectina (70 mL/60.000 sementes), tiametoxam (60 g/60.000 sementes), fludioxonil, metaloxil e tiabendazol, todos na dose de 30 mL/60.000 sementes. Aos dez dias após a emergência das plantas, totalmente emergidas aos 6 dias após a semeadura, procedeu-se o desbaste, deixando apenas duas plantas por vaso.

A irrigação foi realizada por sistema automático de irrigação por microaspersão, controlada por timer interligado ao conjunto motobomba elétrico trifásico 220V, programado para intervalos de irrigação de 2 minutos com lâmina de 3mm a cada 4 horas. No decorrer do experimento novos intervalos de irrigação foram programados, decorrentes de condições climáticas e também com relação à capacidade de campo e o ponto de murcha.

O delineamento experimental adotado no experimento foi de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 5x3, com cinco repetições. Os fatores foram constituídos por cinco dosagens do herbicida mesotrione (0, 72, 144 - dosagem recomendada, 288 e 576 g ha⁻¹) (Callisto, 400 g L⁻¹ i.a., SC, Syngenta) e três épocas de aplicação do herbicida (pré-emergência - pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6), totalizando 15 tratamentos. O intervalo de dosagens avaliado foi estabelecido a partir da dosagem recomendada do mesotrione para milho comum (Rodrigues e Almeida, 2011).

A aplicação do herbicida foi realizada fora da casa-de-vegetação sob condições de clima favorável à absorção e translocação do herbicida, com o auxílio de

pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com uma barra de quatro bicos com pontas tipo leque XR 110.02, espaçados de 0,5 m entre si e calibrados para aplicar 200 L ha⁻¹ a uma altura de 0,5 m em relação ao alvo. Para os tratamentos em pós-emergência foi acrescentado o adjuvante Nimbus[®] (0,5% v/v) na calda de pulverização.

As avaliações foram realizadas de forma a estudar os efeitos do mesotrione relacionados à intoxicação, índice SPAD, crescimento e massa de matéria seca da parte aérea das plantas. Realizaram-se avaliações visuais de intoxicação aos 7, 10, 14 e 21 dias após a emergência das plantas de milho doce para os tratamentos aplicados em pré-emergência e nos mesmos períodos de tempo após a aplicação dos tratamentos em pós-emergência (estádios V3 e V6) por meio da escala EWRC (1964) (Tabela 1), onde 1 descreve plantas sem danos na parcela e 9 a morte das plantas.

Para as avaliações de índice SPAD foram realizadas duas leituras em cada parcela adotando a última folha expandida para avaliação, utilizando-se o equipamento clorofilômetro Soil Plant Analysis Development – SPAD-502 (Minolta, 1989), sendo realizadas aos 7, 10 e 21 dias após a emergência das plantas de milho doce para os tratamentos aplicados em pré-emergência e nos mesmos períodos de tempo após a aplicação dos tratamentos em pós-emergência.

As variáveis relacionadas ao crescimento do milho doce foram avaliadas aos 7, 14 e 21 dias após a emergência das plantas para os tratamentos aplicados em pré-emergência e nos mesmos períodos de tempo após a aplicação dos tratamentos em pós-emergência (estádios V3 e V6), sendo definida pela altura média das plantas na parcela, medindo-se desde o nível do solo até a lígula da última folha expandida, e pelo diâmetro de colmo mensurado com o auxílio de paquímetro digital no nível do solo (abaixo do epicótilo).

Ao término das avaliações aos 21 DAA nas plantas em estágio V6 foi realizada a colheita da parte aérea das plantas de cada vaso para a obtenção dos dados de massa de matéria seca. Em seguida as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar, a temperatura média de 60 °C por 72 horas, até atingir massa seca constante, sendo pesadas posteriormente em balança analítica de precisão.

Para possibilitar a comparação dos resultados das avaliações de crescimento e índice SPAD considerando as diferentes épocas de aplicação, os dados foram convertidos para valores percentuais por meio da comparação dos valores obtidos nos

tratamentos herbicidas com os valores das respectivas testemunhas sem aplicação do mesotrione, considerada 100%.

Os dados foram submetidos aos testes de Levene e Shapiro-Wilk, com o objetivo de avaliar a variância e a normalidade dos erros, empregando-se o programa estatístico SAS (SAS, 1999). Na análise dos dados empregou-se análise de variância e posterior análise de regressão. Para a análise do fator isolado época de aplicação as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 1999).

3.3 Resultados e Discussão

Não houve interação entre os fatores épocas de aplicação e dosagens para nenhuma das variáveis-resposta avaliadas no experimento ($p < 0,05$). Todavia, houve efeito isolado do fator época de aplicação para a variável-resposta altura de plantas aos 21 DAA, diâmetro de como aos 14 e 21 DAA e índice SPAD aos 10 DAA (Tabela 2).

As plantas de milho doce não apresentaram sintomas de intoxicação em resposta à aplicação do mesotrione, independentemente da dosagem ou época de aplicação do herbicida. A análise de fitointoxicação visual é baseada em alterações na coloração das plantas comparada com as plantas da testemunha sem aplicação. Neste trabalho todos os tratamentos receberam notas de descrição de sintomas de fitointoxicação na escala de 1 que, por sua vez, descreve a presença de plantas sem danos visíveis como pequenas alterações de descoloração e/ou deformações. Assim, em primeira instância todos os tratamentos com mesotrione foram seletivos para o híbrido de milho doce Tropical Plus.

Resultados obtidos por O' Sullivan et al. (2002) ao avaliarem a tolerância de nove cultivares de milho doce ao mesotrione aplicado nas modalidades em pré e pós-emergência, mostraram que em pré-emergência o herbicida não causou nenhum tipo de injúria a qualquer cultivar de milho doce avaliada nas dosagens de 140 e 280 g ha⁻¹. Em pós-emergência (estádio V5), nas dosagens de 100 e 200 g ha⁻¹, o herbicida mesotrione causou injúria em todas as cultivares, com sintomas de clorose e perda de pigmentação nas folhas, levando ao esbranquiçamento das plantas. Os autores adotaram a escala de 0 a 100% para a descrição de fitointoxicação e as médias obtidas variaram entre 0 e 38% na dosagem de 100 g ha⁻¹ e entre 2 e 57% na dosagem de 200 g ha⁻¹.

Em ensaios conduzidos com milho comum por Skrzypczak et al. (2011) as plantas apresentaram-se tolerantes ao mesotrione. Não foram observados sintomas de fitointoxicação nos tratamentos com mesotrione aplicados de forma isolada (150 g ha^{-1}) sobre plantas em estágio V4 a V6. Dados obtidos por Furtado (2004) em ensaio realizado em casa de vegetação demonstraram a ausência de sintomas visuais de fitointoxicação por mesotrione aplicado em pós-emergência (estádio V4) até duas vezes a dosagem recomendada (288 g ha^{-1}) em milho comum cultivar BRS 2020.

Em estudo realizado por Ogliari et al. (2009), os sintomas visuais de intoxicação em plantas de milho tratadas com mesotrione (192 g ha^{-1}) em estágio V4 iniciaram-se principalmente na terceira e na quarta folha a partir de 3 (DAA). Esses sintomas foram reduzindo progressivamente a partir dos 7 DAA, e aos 12 DAA não se observou nenhuma evidência visual de fitointoxicação. As folhas que surgiram após a aplicação do herbicida não apresentaram sintomas.

Resultados obtidos por Johnson et al. (2002) avaliando a tolerância de milho comum ao mesotrione nas dosagens de 105 e 140 g ha^{-1} , aplicado nos estádios fenológicos de V3, V4 e V5, apresentaram leves sintomas visuais de fitointoxicação aos 7 DAA, sendo esses sintomas não mais perceptíveis aos 28 DAA. Os mesmos autores também avaliaram o efeito da época de aplicação de mesotrione (V3, V4 e V5), com as referidas dosagens no desenvolvimento de milho. Os resultados mostraram que quanto mais tardia a aplicação, maiores são as injúrias visuais.

As enzimas do citocromo P450 desempenham um importante papel na metabolização em pelo menos seis herbicidas incluindo mesotrione, nicossulfuron, foramsulfuron e tembotrione. A sensibilidade do milho doce a vários herbicidas metabolizados pelo citocromo P450 é simplesmente hereditária e possui uma base genética comum, um único locus P450 que pode explicar a grande variação na porcentagem de lesão foliar do milho doce comumente observada entre os ensaios (Williams et al., 2008).

Respostas variadas aos herbicidas metabolizados com P450 podem ser resultado de taxas desiguais de metabolismo entre híbridos de milho doce, que diferem para os alelos que regulam o citocromo P450 monooxigenase. Com o objetivo de determinar os alelos que afetam a tolerância e a sensibilidade da cultura do milho doce aos herbicidas, Pataky et al. (2008) observaram que dos 149 híbridos comerciais avaliados em relação ao mesotrione apresentaram 37% e 28% de lesões foliares para híbridos homocigotos sensíveis, aos 7 e 14 dias após a aplicação, respectivamente, 4% e

2% de lesões foliares para híbridos homocigotos tolerantes aos 7 e 14 dias respectivamente e 10% e 5% de lesões foliares para híbridos heterocigotos aos 7 e 14 dias respectivamente.

No que se refere ao efeito dos tratamentos sobre a altura de plantas aos 21 DAA comparados às suas respectivas testemunhas sem herbicida, essa variável-resposta apresentou efeito significativo isolado do fator época de aplicação. A partir da comparação de médias (Tabela 3) nota-se uma redução significativa com relação à altura de plantas aos 21 DAA para as aplicações em pós-emergência no estágio V6, significando que, na média de todas as dosagens avaliadas, as plantas de milho doce submetidas ao mesotrione no estágio V6 apresentaram altura inferior às plantas que receberam o herbicida no estágio V3. Entretanto, para essas duas épocas, não houve diferença se comparado à modalidade de aplicação em pré-emergência.

A altura de plantas é uma variável relacionada ao crescimento e comumente analisada em estudos de seletividade de herbicidas. Segundo Negrisoli et al. (2004) mesmo em condições de não ocorrência de sintomas fitotóxicos relacionados aos herbicidas, as plantas podem apresentar alterações em seu desenvolvimento não perceptíveis em avaliações visuais. Essa variável-resposta pode fornecer dados referentes à tolerância de determinado híbrido ao tratamento herbicida, onde reduções de biomassa podem ser detectadas em avaliações periódicas de altura de plantas. É importante relacionar a altura de plantas e a massa de matéria seca da parte aérea para a determinação de seletividade de herbicidas, já que os dados obtidos em avaliações de altura de plantas podem não ser definitivos e a cultura apresentar recuperação ao longo do ciclo.

Segundo Spader e Vidal (2001) plantas de milho tratadas nos estádios mais avançados de desenvolvimento apresentam maior capacidade de interceptar e absorver maior quantidade do herbicida do que aquelas pulverizadas em estágio precoce, devido à maior área foliar disponível durante as aplicações. Possivelmente a intensa atividade fotossintética nesses estádios de desenvolvimento contribuiu para a elevada translocação do herbicida das folhas aos meristemas.

De acordo com estudo realizado por O' Sullivan (2002), que avaliaram a seletividade do herbicida mesotrione em cultivares de milho doce em diferentes épocas de aplicação, para as aplicações em pré-emergência do herbicida não foi constatada nenhuma redução com relação à altura de plantas dentre todas as cultivares avaliadas. Já para a aplicação em pós-emergência em estágio V5 na dosagem de 200 g ha⁻¹ a cultivar

Del Monte 2038 apresentou redução significativa na altura de plantas, o que traria a cultivar como de maior sensibilidade para aplicações em pós emergência.

As avaliações de diâmetro de colmo realizadas aos 14 e 21 DAA (Tabelas 4 e 5) apresentaram comportamento semelhante, não sendo constatada interação significativa entre os fatores, onde a variável-resposta teve efeito significativo isolado para o fator modalidade de aplicação. Tanto aos 14 quanto aos 21 DAA, considerando a média das dosagens de mesotrione avaliadas, plantas tratadas com mesotrione no estágio V6 apresentaram diâmetro de colmo inferior às plantas que receberam o herbicida em pré-emergência. Todavia, plantas tratadas com mesotrione em pré-emergência e pós-emergência (estádio V6), em média, não diferem de plantas tratadas com mesotrione no estágio V3.

O diâmetro do colmo representa um fator de extrema importância do ponto de vista fisiológico, não possuindo apenas função de suporte de folhas e inflorescências, mas principalmente, atuando como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que são utilizados posteriormente na formação dos grãos (Fancelli e Dourado Neto, 2000; Carmo et al., 2012).

Segundo Dias et al. (2015) alguns herbicidas como atrazine, diclosulam e diuron apesar de causarem pouca injúria visual interferem negativamente em variáveis relacionadas ao crescimento da cultura do milho. Já outros como o mesotrione e o tembotrione apesar de causarem sintomas de intoxicação à cultura afetaram pouco o seu crescimento.

O medidor portátil SPAD - 502 utilizado para avaliações de índice de clorofila permiti leituras instantâneas da intensidade da cor verde da folha (valor correspondente ao teor relativo de clorofila) sem destruí-la. Os valores foram calculados pelo equipamento com base na quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de onda, com diferentes absorbâncias da clorofila. Alguns pesquisadores têm demonstrado a existência de relação entre índice de esverdeamento e o teor de clorofila da folha em várias espécies de plantas, como no milho (Amarante et al., 2010).

Classificado como inibidor da síntese de carotenoides, o herbicida mesotrione quando aplicado passa a estar diretamente relacionado ao índice de clorofila presente nas folhas. Conforme Amarante et al. (2010), as clorofilas são pigmentos que refletem a cor verde e estão diretamente associadas com o potencial da atividade fotossintética. A alta eficiência fotossintética pode levar ao incremento da produtividade agrícola. Dados relacionados à eficiência fotossintética podem ser referência até mesmo sobre a eficácia

de controle químico de plantas daninhas, e também como meio de comprovação com relação à seletividade em culturas de importância econômica.

No que se refere ao efeito dos tratamentos sobre o índice Spad aos 10 DAA foi observado efeito significativo apenas para o fator isolado épocas de aplicação (Tabela 6). Em média, plantas de milho doce submetidas ao mesotrione no estágio V6 apresentaram índice de clorofila inferior às plantas que receberam o herbicida no estágio V3, não havendo diferença dessas duas épocas de aplicação se comparadas à modalidade de aplicação em pré-emergência.

Ogliari et al. (2009) relata que a fotossíntese é importante na estratégia para a análise de plantas tratadas com herbicidas. Esses autores observaram que o herbicida mesotrione na dosagem de 192 g ha^{-1} , aplicado em estágio V4, reduziu a taxa fotossintética nas plantas de milho híbrido Braskalb 330 em 78% no primeiro dia, 66% no segundo dia e 75% no terceiro dia após a aplicação do herbicida, em relação ao controle. Entretanto, aos 5 e 7 DAA, a taxa fotossintética nos tratamentos não apresentou diferenças significativas.

Para a variável massa de matéria seca da parte aérea, não houve diferença significativa para os tratamentos, ou seja, não houve redução de massa de matéria seca em decorrência da aplicação do mesotrione, independentemente da dosagem ou época de aplicação do herbicida. O estudo da matéria seca determina o aumento de material acumulado durante a formação de um órgão ou da planta toda, sem levar em consideração o conteúdo de água. Trata-se de uma variável relacionada ao crescimento de grande importância em estudos de seletividade, já que em trabalhos onde a observação visual de sintomas de fitointoxicação não foi detectada, a determinação da massa de matéria seca da parte aérea pode comprovar estatisticamente a interferência dos fatores avaliados no experimento.

Em estudo realizado por Furtado (2004) com o objetivo de avaliar a seletividade do herbicida mesotrione em milho comum por meio de curvas de dosagem-resposta pode-se notar a forte tendência de se reduzir a massa de matéria seca de plantas de milho submetidas a doses crescentes do herbicida até a dosagem recomendada de 144 g ha^{-1} , com aproximadamente 20% de redução com relação à testemunha sem aplicação. A partir deste ponto a perda de matéria seca se estabilizou.

Em estudos de seletividade os resultados da avaliação de fitointoxicação e crescimento em relação ao acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea podem confirmar a seletividade de um herbicida, principalmente em situações onde não se

possua avaliações realizadas ao final do ciclo da cultura, as quais poderiam apontar o efeito dos tratamentos sobre a produtividade. Neste estudo apesar da redução da altura, diâmetro de colmo e índice SPAD nas plantas em estágio V6, não houve efeito sobre a massa de matéria seca, possivelmente devido à recuperação das plantas milho, o que nessas condições garante seletividade do herbicida mesotrione independentemente da dosagem e época de aplicação.

Conhecer e entender as propriedades físico-químicas dos herbicidas é determinante em estudos relacionados à seletividade de herbicidas. As propriedades físico-químicas dos herbicidas determinam seu modo de aplicação e governam a dinâmica dos herbicidas no ambiente e nas plantas. Poucos são os dados disponíveis na literatura sobre a dinâmica do mesotrione no ambiente. A biodegradação tem sido citada como a principal forma de degradação desse composto no solo. Estudos relacionados à persistência do herbicida mesotrione no solo indicam que os principais atributos do solo relacionados ao comportamento sortivo de mesotrione são o pH, o teor de carbono orgânico e a fração de argila (Martinazzo, 2010).

O herbicida mesotrione é um ácido fraco, o que garante a dissociação de sua molécula em situações de elevação do pH do solo, assumindo caráter aniônico, já em solos com maior concentração de cargas negativas, ficam pouco adsorvidos, ou seja, permanece na fase líquida, predisposto à absorção pelas plantas ou à lixiviação. A ionização do herbicida (pK_a) é uma característica diretamente relacionada à sua capacidade de retenção no solo. O herbicida mesotrione apresenta $pK_a = 3,1$ e quando submetido a valores de pH superiores à capacidade de ionização, a sua retenção no solo diminui (Dyson et al., 2002).

As constantes relacionadas à retenção nos solos são ainda mais importantes e influenciam mais à capacidade de sorção do que, propriamente, a ionização. O coeficiente de partição na matéria orgânica (K_{oc}) é definido como o coeficiente que gera estimativa da tendência de partição de determinado produto da fase líquida para a matéria orgânica do solo. Herbicidas com valores muito altos de K_{oc} indicam que o herbicida é altamente adsorvível pela fase sólida do solo, independentemente da sua ionização (pK_a) (Carvalho, 2013). O herbicida mesotrione apresenta K_{oc} entre 14 a 390 mL/g, valores relativamente baixos que diminuem a possibilidade de retenção do herbicida ao solo (Rodrigues e Almeida, 2011).

Segundo Carvalho (2013) a solubilidade em água exerce um importante papel na dinâmica de herbicidas aplicados em pré-emergência. Esse valor indica a habilidade

do composto em se diluir em água, influenciando diretamente na dinâmica do herbicida no solo. O herbicida mesotrione apresenta solubilidade em água de 168,7 mg/L, um valor relativamente baixo que pode influenciar a dinâmica do herbicida no solo, como por exemplo, a volatilização, a mobilidade e a adsorção da molécula. A alta solubilidade se torna um desafio principalmente em solos arenosos, nos quais tendem a apresentar menores teores de matéria orgânica e conseqüentemente menores níveis de retenção do herbicida (Rodrigues & Almeida, 2011).

A dinâmica de herbicidas no solo é um fator importante a ser analisado pela capacidade de ocasionar diferentes níveis de tolerância em tratamentos com herbicidas. Mediante as relações estabelecidas entre as constantes comportamentais do mesotrione no solo, e as características físico-químicas do solo, obtidas a partir da análise, torna possível uma análise referente à retenção do herbicida no solo. Nessas condições experimentais o mesotrione apresentou-se com alta capacidade de absorção pelas plantas, o que em tese seria o ideal para estudos relacionados à seletividade. Esse fator reflete assim como os demais resultados deste trabalho a alta capacidade do milho doce em tolerar o tratamento com o herbicida.

A grande variabilidade de tipos de solos garante aos pesquisadores um amplo leque de estudos referentes à dinâmica do herbicida mesotrione no solo, principalmente com relação à seletividade de herbicidas, uma vez que, o herbicida pode apresentar comportamentos variáveis em relação a determinados tipos de solo, o que conseqüentemente pode resultar em diferentes níveis de seletividade do herbicida.

Com relação ao futuro da cultura do milho doce um aspecto que merece destaque é a estreita base genética da cultura, que poderá, em um futuro próximo, impedir os avanços dos programas de melhoramento. Os programas de melhoramento voltados para a cultura do milho doce ainda são limitados. O principal interesse dos programas ainda se mantém restrito em desenvolver híbridos adaptados às condições climáticas e que atendam desde características agrônômicas destinadas aos agricultores, tais como produtividade, tolerância a doenças e insetos-praga, até características sensoriais e de aparência dos grãos, espigas que atendam os consumidores e indústrias de processamento (Teixeira et al., 2013).

No Brasil existem excelentes programas de melhoramento de milho comum. Pelo fato do melhoramento de milho doce seguir basicamente as mesmas metodologias desenvolvidas para milho comum, acredita-se que há um enorme potencial nacional com relação ao melhoramento da cultura. Relacionado ao estudo de seletividade

proposto neste trabalho vale ressaltar a necessidade de avaliação da tolerância dos híbridos lançados e ainda em desenvolvimento a herbicidas nos programas de melhoramento genético de milho doce.

O herbicida mesotrione ainda não possui registro para aplicações em pré-emergência na cultura do milho no Brasil, apesar de vários estudos já relatarem sua seletividade à cultura nessa modalidade de aplicação e sua eficácia no controle inicial de plantas daninhas. Conforme Karam et al. (2010) herbicidas eficientes para aplicação em pré-emergência devem apresentar atividade residual suficiente para manter as plantas daninhas controladas até o final do período crítico de competição.

Esse herbicida é tido como uma nova ferramenta de manejo de plantas daninhas, o que tem tornado cada vez mais amplo seu mercado. Uma das características de destaque é a atividade residual no solo, já que seu período residual é em torno de 120 dias (Rouchaud et al., 2000). Esse período residual é de extrema importância quando se trata de aplicações em pré-emergência, pois quanto maior ele for maior será o intervalo de controle de plantas daninhas na área. Porém, a sucessão de cultivos é um aspecto a ser considerado para aplicação de determinados herbicidas. O herbicida mesotrione dependendo da época de aplicação, da dosagem aplicada, textura do solo, porcentagem de matéria orgânica e precipitação pluvial pode apresentar efeito *carryover* para a cultura sucessora, podendo comprometer o estabelecimento, crescimento, produtividade e qualidade do produto final.

Mais estudos, em condições de casa de vegetação e campo, acerca da eficácia e seletividade de mesotrione são demandados, devido aos diferentes resultados obtidos entre os diversos trabalhos encontrados na literatura. Esses estudos devem ser mais detalhados por meio da análise de um número maior de variáveis relativas ao estabelecimento, desenvolvimento e produção do milho doce com o intuito de identificar a possibilidade de o mesotrione causar fitotoxicidade visível e oculta nesse cereal. Além disso, sua seletividade deve ser avaliada em diversos híbridos, tendo em vista a tolerância diferencial que pode existir entre esses.

3.4 Conclusão

Nas condições em que este trabalho foi realizado, mediante os resultados obtidos o mesotrione apresenta seletividade à cultura do milho doce híbrido Tropical

Plus até quatro vezes a dosagem recomendada do herbicida ($4 \times 144 \text{ g ha}^{-1}$) ou (576 g ha^{-1}), tanto em aplicações em pré-emergência quanto em pós-emergência (estádios V3 e V6).

3.5 Referências

Amarante, C.V.T.; Steffens, C.A.; Sangoi, L.; Zanardi, O.Z.; Miqueloto, A.; Schweitzer, C. Quantificação de clorofilas em folhas de milho através de métodos ópticos não destrutivos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.1, p.39-50, 2010.

Barbieri, V.H.B. **Mapeamento de QTL em testecrosses de milho doce com diferentes testadores e ambientes**. 2010. 128 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

Carmo, M.S.; Cruz, S.C.S.; Souza, E.J.; Campos, L.F.C.; Machado, C.G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. saccharata var. rugosa). **Bioscience Journal**, v.28, p.223-231, 2012.

Carvalho, L.B. Dinâmica fisiológica. In: **Herbicidas**. 1ª Edição / Edição do autor, Lages, SC, 2013. Cap.4, p. 21-50.

Dias, R.; Gonçalves, C.G.; Reis, M.R., Mendes, K.F.; Carneiro, G.D.O.P.; Melo, C.A.D.; Pereira, A.A. Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência no milheto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.14, n.4, p.348-355, 2015.

Dyson, J.S.; Beulke, S.; Brown, C.D.; Lane, M.C.G. adsorption and degradation of the weak acid mesotrione in soil and environmental fate implications. **Journal of environmental Quality**, v.31, n.2, p.613-618, 2002.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2013. 3ª Edição, p.353.

European Weed Research Council – EWRC. Report of the 3rd, and 4th meetings of EWRC. Committee of methods in Weed Research. **Weed Research**, v.4, p.88, 1964.

Fancelli, A.L.; Dourado Neto, D. Ecofisiologia e fenologia. In: Fancelli, A.L.; Dourado Neto, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p.21-54.

Ferreira, D. F. **Sistema de análise de variância (SISVAR)**. Versão 4.6. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999.

Furtado, D.A.S. **Seletividade e eficácia agronômica do herbicida mesotrione na cultura do milho**. 2004. 68f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

Johnson, B.C.; Young, B.G.; Matthews, J.L. Effect of postemergence application rate and timing of mesotrione on corn (*Zea mays*) response and weed control. **Weed Technology**, v.16, n.2, p.414-420, 2002.

Karam, D; Melhorança, A.L.; Oliveira M.F.; Silva, J.A.A. Sistema de Produção - **Cultivo do milho**. Versão eletrônica, 6^o edição. Embrapa Milho e Sorgo. 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br>. Acesso em: 10 nov. 2016.

Martinazzo, R. **Dinâmica da atrazine e mesotrione em solos: degradação acelerada, sorção e implicações ambientais**. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

Minolta. Chlorophyll meter. Soil Plant Analysis Development SPAD-502. **Instruction Manual**. Osaka, Japan. 22 p. 1989.

Nakagawa, A.C.S.; Marino, T.P.; Lopes, KB; Dalto, PG; Krause, M.D.; Cavalcante, A.P.; Dias, H.A.C.; et al. Potencial agronômico de populações de milho superdoce portadoras do gene Brittle-2. **Congresso nacional de milho e sorgo**, 29. Águas de Lindóia. Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012.

Negrisoni, E.; Velini, E.D.; Tofoli, G.R.; Cavenaghi, A.L.; Martins, D.; Morelli, J.L.; Costa, A.G.F. Selectivity of pre-emergence herbicides to sugarcane treated with nematicides. **Planta Daninha**, v.22, p.567-575, 2004.

Ogliari J.; Freitas, S.P.; Ramos, A.C.; Bressan-Smith, R.E.; Façanha, A.R. Proton transport primary systems used as mechanisms of mesotrione detoxification in corn plants. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.799-807, 2009.

O'Sullivan, J.; Zandstra, J.; Sikkema, P. Sweet corn (*Zea mays*) cultivar sensitivity to mesotrione. **Weed Technology**, v.16, n.2, p.421-425, 2002.

Pataky, J.K.; Meyer, M.D.; Bollman J.D.; Boerboom, C.M.; Williams, M.M. Genetic basis for varied levels of injury to sweet corn hybrids from three cytochrome P450-metabolized herbicides. **Journal Horticultural Science**, v.133, p.438-447, 2008.

Pereira Filho, I.A.; Teixeira, F.F. Editores técnicos. **O cultivo do milho-doce**. EMBRAPA. Embrapa Milho e sorgo, 2016. 298p.

Rodrigues, B.N.; Almeida F.S. 2011. **Guia de herbicidas**. 6° ed. Londrina, PR: Edição dos Autores, 697p.

Rouchaud, J.; Neus, O.; Cools, K.; Buckle, R. Dissipation of the triketone mesotrione herbicide in the soil of the soil of corn crops grown on different soil types. **Toxicological Environmental Chemistry**, v.77, p.31-40, 2000.

SAS Institute. **Statistical Analysis System Institute**. Procedure guide for personal computers. Version 5. Cary: 1999.

Skrzypczak, G.A.; Sobiech, L.; Waniorek, W. Evaluation of the efficacy of mesotrione plus nicosulfuron with additives as tank-mixtures used for weed control in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Plant Protection Research**, v.51, p.300-305, 2011.

Spader, V.; Vidal, R.A. Seletividade e dose de injúria econômica de nicosulfuron aplicado em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do milho. **Ciência Rural**, v.3, n.6, p.929-934, 2001.

Teixeira, F.F.; Miranda, R.A.; Paes, M.C.D.; Souza, S.M.; Gama, E.E.G. **Melhoramento do milho doce**. Documento 154: Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2013. 32p.

Velini, E.D.; Frederico, L.A.; Morelli, J.L.; Marubayashi, O.M. Avaliação dos efeitos do herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência inicial, sobre o crescimento e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* cv. SP 71-1406). **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.10, p.13-16, 1992.

Williams, M.M. Planting date influences critical period of weed control in sweet corn. **Weed Science**, v.54, p.928-933, 2006.

Williams, M.M.; Rabaey T.L. Residual weeds of sweet corn in the north central region. **Weed Technology**, v.22, p.646-653, 2008.

Williams, M.M.; Wax, L.M.; Pataky, J.K.; Meyer, M.D. Further evidence of a genetic basis for varied levels of injury to sweet corn hybrids from cytochrome P450-metabolized herbicides applied postemergence. **Hortscience**, v.43, p.2093–2097, 2008.

Zuchareli, C.; Panoff, B.; Portugal, G.; Fonseca, I.C.B. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de milho doce. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, p.480- 48, 2012.

ANEXOS

Tabela 1. Índice de avaliação e sua descrição de fitointoxicação, segundo escala (EWRC, 1964).

Índice de avaliação	Descrição da fitointoxicação
1	Sem dano
2	Pequenas alterações (descoloração, deformação) visíveis em algumas plantas
3	Pequenas alterações visíveis em muitas plantas (clorose e encarquilhamento)
4	Forte descoloração ou razoável deformação, sem ocorrer necrose
5	Necrose de algumas folhas, acompanhada de deformação em folhas e brotos
6	Redução no porte das plantas, encarquilhamento e necrose das folhas
7	Mais de 80% das folhas destruídas
8	Danos extremamente graves, sobrando pequenas áreas verdes nas plantas
9	Morte da planta

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis-resposta altura de plantas relativa (%), diâmetro de colmo relativo (%), índice SPAD relativo (%) e massa seca da parte aérea (g) de plantas de milho doce híbrido Tropical Plus em resposta a dosagens crescentes de mesotrione em diferentes modalidades de aplicação. Morrinhos-GO, 2016.

Variável-resposta	Fonte de Variação			Média Geral	CV (%)
	Pr>Fc				
	Época	Dosagem	Época x Dosagem		
Altura de plantas - 7 DAA	0,57 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,93 ^{NS}	103,45	9,35
Altura de plantas - 14 DAA	0,12 ^{NS}	0,38 ^{NS}	0,98 ^{NS}	97,44	9,55
Altura de plantas) - 21DAA	0,00*	0,52 ^{NS}	0,49 ^{NS}	99,73	9,17
Diâmetro de colmo - 7 DAA	0,43 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,75 ^{NS}	97,46	10,24
Diâmetro de colmo - 14 DAA	0,00*	0,13 ^{NS}	0,42 ^{NS}	100,78	8,46
Diâmetro de colmo - 21 DAA	0,00*	0,11 ^{NS}	0,20 ^{NS}	102,12	6,79
Índice SPAD - 7 DAA	0,33 ^{NS}	0,95 ^{NS}	0,92 ^{NS}	100,30	10,06
Índice SPAD - 10 DAA	0,00*	0,10 ^{NS}	0,55 ^{NS}	106,24	9,46
Índice SPAD - 21 DAA	0,14 ^{NS}	0,95 ^{NS}	0,85 ^{NS}	99,72	8,98
Massa seca de parte aérea (g)	0,81 ^{NS}	0,55 ^{NS}	0,93 ^{NS}	16,54	19,26

^{NS} = Não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade (p<0,05).

*= Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade (p<0,05).

Tabela 3. Altura relativa (%) de plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus) aos 21 dias após a aplicação (DAA) de dosagens crescentes do herbicida mesotrione em diferentes épocas de aplicação (pré-emergência – pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6). Morrinhos-GO, 2016.

Dosagem (g ha ⁻¹)	Épocas de aplicação		
	Pré-emergência	V3	V6
0	100,00	100,00	100,00
72	103,24	106,81	95,69
144	101,90	99,42	92,62
288	100,60	107,37	96,86
576	91,19	105,75	94,59
Média	99,39 AB	103,87 A	95,95 B
DMS	6,23		
CV (%)	9,17		

Médias seguidas de mesma letra na linha não se diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Diâmetro de colmo relativo (%) de plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus) aos 14 dias após a aplicação (DAA) de dosagens crescentes do herbicida mesotrione em diferentes épocas de aplicação (pré-emergência - pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6). Morrinhos-GO, 2016.

Dosagem (g ha ⁻¹)	Épocas de aplicação		
	Pré-emergência	V3	V6
0	100,00	100,00	100,00
72	106,97	99,97	97,31
144	108,48	108,63	96,96
288	110,85	98,65	94,78
576	98,15	96,21	94,80
Média	104,89 A	100,69 AB	96,77 B
DMS	5,80		
CV (%)	8,46		

Médias seguidas de mesma letra na linha não se diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Diâmetro de colmo relativo (%) de plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus) aos 21 dias após a aplicação (DAA) de dosagens crescentes do herbicida mesotrione em diferentes épocas de aplicação (pré-emergência - pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6). Morrinhos-GO, 2016.

Dosagem (g ha ⁻¹)	Épocas de aplicação		
	Pré-emergência	V3	V6
0	100,00	100,00	100,00
72	109,20	98,94	97,69
144	107,64	108,96	98,85
288	112,87	101,01	98,69
576	102,15	100,16	95,79
Média	106,37 A	101,81 AB	98,20 B
DMS	4,72		
CV (%)	6,79		

Médias seguidas de mesma letra na linha não se diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Índice SPAD relativo (%) de plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus) aos 10 dias após a aplicação (DAA) de dosagens crescentes do herbicida mesotrione em diferentes épocas de aplicação (pré-emergência - pós-semeadura, pós-emergência - estágio V3 e pós-emergência - estágio V6). Morrinhos-GO, 2016.

Dosagem (g ha ⁻¹)	Épocas de aplicação		
	Pré-emergência	V3	V6
0	100,00	100,00	100,00
72	108,43	114,55	106,00
144	109,50	112,96	100,15
288	111,06	111,72	100,00
576	105,98	117,28	95,98
Média	106,99 AB	111,30 A	100,43 B
DMS	6,84		
CV (%)	9,46		

Médias seguidas de mesma letra na linha não se diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.