

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**CLÁUDIA MARIA PRADO DOS SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO DE LINHAGENS DE MILHO E AVALIAÇÃO DO CONTROLE  
GENÉTICO PARA TOLERÂNCIA AO HERBICIDA MESOTRIONE**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2017**

**CLÁUDIA MARIA PRADO DOS SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO DE LINHAGENS DE MILHO E AVALIAÇÃO DO CONTROLE  
GENÉTICO PARA TOLERÂNCIA AO HERBICIDA MESOTRIONE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Ricken Schuelter

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ**

**2017**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

S237c Santos, Cláudia Maria Prado dos  
Caracterização de linhagens de milho e avaliação do controle genético para tolerância ao herbicida mesotrione / Cláudia Maria Prado dos Santos. – Marechal Cândido Rondon, 2017.  
45 f.

Orientador: Dr. Adilson Ricken Schuelter

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2017.

1. Milho. 2. Erva daninha - Controle. 3. Milho – Melhoramento genético. I. Schuelter, Adilson Ricken. II. Título.

CDD 22.ed. 633.15  
CIP-NBR 12899



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



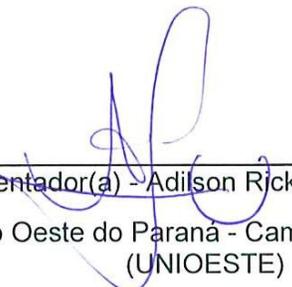
**PARANÁ**

GOVERNO DO ESTADO

## CLAUDIA MARIA PRADO DOS SANTOS

Caracterização de linhagens de milho e avaliação do controle genético para tolerância ao herbicida mesotrione

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

  
Orientador(a) - Adilson Ricken Schuelter  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon  
(UNIOESTE)

  
Edmar Soares de Vasconcelos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon  
(UNIOESTE)

  
Cláudio Yuji Tsutsumi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon  
(UNIOESTE)

  
Cristina Fernanda Schneider

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - Toledo (PUC-Toledo)

Marechal Cândido Rondon, 18 de julho de 2017

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus Todo Poderoso, pela benção, oportunidade, apoio, e coragem em enfrentar os obstáculos da vida.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGA, pela oportunidade de realização do mestrado.

À Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC, pela oportunidade e pela estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

À Cooperativa de Credito Rural Coopavel – CREDICOOPAVEL, em especial à minha Gerente Neuza T. Gentelini e ao Diretor Dilvo Grolli por incentivarem minha capacitação e disponibilizar parte de meu horário de trabalho para realizar e concluir o mestrado, obrigado por não me deixarem desistir e terem confiado a mim o crescimento profissional e pessoal.

Ao meu Orientador Professor Doutor Adilson Ricken Schuelter, eu agradeço pelos conhecimentos repassados, pela orientação e pela importante contribuição no meu processo de formação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon, pela contribuição no meu processo de qualificação profissional.

Agradeço ao meu amado pai Claudio Geraldo do Prado, pela força nos momentos difíceis, incentivo e confiança, nunca medindo esforços para me auxiliar. Minha mãe Eliane de Fatima Pottemaier e meus irmãos, que na medida do possível tiveram sua contribuição na conclusão desta etapa.

À minha família, meu grande amor Diego Augusto dos Santos, aos meus filhos Catarina Prado dos Santos e Augusto Prado dos Santos que são tudo de mais precioso que eu tenho nesta vida, e que além de todo amor e compreensão me apoiaram e tiveram paciência nos momentos que tive que ser ausente.

À grande amiga Patricia Nesello, pelos inúmeras vezes que me acolheu em sua casa e ouviu minhas lamurias e aflições, sempre me apoiando como um anjo, à amiga Eloiza Lorenzetti, aos colegas Jonatas Marcolin, Kaian Kaeffler, ao amigo e incentivador Dr. Affonso Celso Gonçalves Jr., ao meu sogro Celso Lopes dos Santos e aos colegas que aqui não citei, mas que compartilharam desta importante etapa para realização deste trabalho.

Eu agradeço!

## RESUMO

DOS SANTOS, Cláudia Maria Prado. Magister Scientiae, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Julho – 2017. **Caracterização de linhagens de milho e avaliação do controle genético para tolerância ao herbicida mesotrione.** Orientador: Dr. Adilson Ricken Shuelter.

O uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas na cultura do milho é amplamente empregado no sistema de cultivo convencional brasileiro. Porém, a cultura pode apresentar sintomas de toxicidade, os quais podem comprometer o desenvolvimento das plantas e reduzir a produtividade. Portanto, este trabalho objetivou avaliar a resposta de 55 linhagens de milho à aplicação de mesotrione e estudar o controle genético ligado à tolerância das linhagens ao herbicida. Os experimentos foram conduzidos na unidade experimental da empresa COODETEC no município de Cascavel, na safra agrícola de 2014/15 e na safrinha 2016. O esquema experimental adotado foi o delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os parâmetros avaliados foram: teor de carotenoides, teor de clorofila e leitura em clorofilômetro. As avaliações foram feitas nos estádios de desenvolvimento do milho V3 e V6. No experimento de caracterização foram avaliados os sintomas apresentados pelas plantas e 14 linhagens apresentaram tolerância ao herbicida. Foi observada a existência de variabilidade genética entre linhagens para os índices de SPAD e para teores de carotenoides nos estádios de V3 e V6. As linhagens CD11 e CD33 são indicadas para realização de estudos sobre controle genético. Os fatores genéticos aditivos são mais importantes do que os desvios de dominância, indicando a possibilidade de obtenção de plantas homozigóticas tolerantes ao herbicida. As estimativas de herdabilidade observadas possibilitam a obtenção de ganhos satisfatórios através da seleção.

Palavras-chave: Carotenoides. Controle genético. Teor de clorofila.

## ABSTRACT

DOS SANTOS, Cláudia Maria Prado. Magister Scientiae, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, July – 2017. **Characterization of lines the corn and evaluation of genetic control for tolerance to mesotrione herbicide.** Advisor: Dr. Adilson Ricken Shuelter.

The use of herbicides to control weeds in maize is widely used in the conventional Brazilian cultivation system. However, the crop may present symptoms of toxicity, which may compromise plant development and reduce yield. Therefore, this work aimed to evaluate the response of 55 maize lines to the application of mesotrione and to study the genetic control linked to the tolerance of the lines to the herbicide. The experiments were conducted at the experimental unit of the company COODETEC in the Cascavel, in the agricultural year of 2014/15 and in the 2016. The experimental adopted was a randomized complete block design with three replications. The evaluated traits were carotenoid content, chlorophyll content and chlorophyll meter reading. The evaluations were made at the stages maize of development of V3 and V6. In the characterization experiment the symptoms presented by the plants were evaluated and 14 lines showed tolerance to the herbicide. Was observed genetic variability between strains for SPAD and carotenoid contents in the V3 and V6 stages. The CD11 and CD33 lines are indicated for studies on genetic control. The additive genetic factors are more important than the deviations of dominance, indicating the possibility of obtaining homozygous plants tolerant to the herbicide. The observed heritability estimates allow the achievement of satisfactory gains through selection.

Keywords: Carotenoids. Chlorophyll content. Genetic control.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Leitura com o clorofilômetro Minolta (SPAD-502) em plantas de milho.....	19
Figura 2 - Resposta da linhagem CD33 controle (esquerda) e com aplicação do herbicida mesotrione (direita).....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais fatores que afetam a resistência de plantas daninhas a herbicidas.....	12
Tabela 2. Descrição de conceitos aplicados para avaliar o grau de toxicidade. ....	20
Tabela 3. Descrição dos genitores e cruzamentos avaliados nos experimentos de tolerância ao herbicida mesotrione na empresa COODETEC, Cascavel – PR, 2015.....	21
Tabela 4. Expressões para o cálculo da variância genotípica.....	23
Tabela 5. Resumo da análise de variância conjunta de 55 linhagens de milho para clorofilômetro em V3 (SPAD3) e V6 (SPAD6), clorofila total em V3 (CT3) e V6 (CT6), e carotenoide em V3 (CAR3) e V6 (CAR6) Cascavel – PR, safra 2015/16.....	26
Tabela 6. Comparação entre 55 linhagens elite de milho da COODETEC para o caractere SPAD3.....	27
Tabela 7. Comparação entre 55 linhagens elite de milho da COODETEC para o caractere SPAD6.....	28
Tabela 8. Comparação entre 55 linhagens elite de milho da COODETEC para o caractere CAROT3.....	29
Tabela 9. Coeficientes de correlação simples de Pearson para as características avaliadas. ....	30
Tabela 10. Resposta das 55 linhagens à aplicação de mesotrione.....	32
Tabela 11. Emprego da adaptação da escala de Gazziero (1995) para número de plantas, média e variância da sensibilidade ao mesotrione. ....	34
Tabela 12. Determinação indireta dos teores de clorofila pelo SPAD-502 para número de plantas, média e variância da sensibilidade ao mesotrione.....	34
Tabela 13. Estimativas das avaliações com SPAD-502 e análise visual para a tolerância ao mesotrione para a geração F <sub>3</sub> .....	35
Tabela 14. Estimativas de efeitos gênicos, obtidos pela análise das médias de seis gerações de plantas de milho avaliados pelo índice SPAD e Visual. ....	36
Tabela 15. Decomposição não-ortogonal da soma de quadrados de parâmetros pelo método de eliminação de Gauss para tolerância ao mesotrione.....	37
Tabela 16. Teste de nulidade de modelos não parametrizados com SPAD-502 e análise visual em seis gerações de milho para a tolerância ao mesotrione. ....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>9</b>
2.1 A CULTURA DO MILHO .....	9
2.2 INTERFERÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO MILHO .....	10
2.3 MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NO MILHO .....	11
2.4 ESTUDO DOS MECANISMOS GENÉTICOS DE TOLERÂNCIA A HERBICIDAS ....	13
2.5 CARACTERIZAÇÃO DE LINHAGENS DE MILHO TOLERANTES.....	14
2.6 METODOLOGIAS EMPREGADAS PARA ESTUDO DO CONTROLE GENÉTICO: ÊNFASE MATHER E JIKNS .....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS LINHAGENS .....	18
3.2 AVALIAÇÃO DO TEOR DE CLOROFILA.....	18
3.3 RESPOSTA DAS LINHAGENS À APLICAÇÃO DE MESOTRIONE.....	20
3.4 FATORES GENÉTICOS ASSOCIADOS À TOLERÂNCIA AO MESOTRIONE .....	20
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	21
3.5.1. Caracterização de linhagens.....	21
3.5.2. Avaliação do controle genético.....	22
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>26</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DE LINHAGENS PARA TEORES DE CLOROFILA, CAROTENOIDES E ÍNDICE SPAD.....	26
4.2. ANÁLISE DE CORRELAÇÕES .....	29
4.3 CARACTERIZAÇÃO DE LINHAGENS QUANTO A RESPOSTA A APLICAÇÃO DO MESOTRIONE.....	31
4.4 ESTUDO DO CONTROLE GENÉTICO PARA TOLERÂNCIA AO MESOTRIONE....	33
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>39</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie cultivada com alta capacidade de absorção de água e nutrientes, bem como na utilização da radiação solar. No entanto, a capacidade do genótipo em expressar o máximo potencial produtivo pode ser afetada por adversidades climáticas, bem como por fatores bióticos, como as plantas invasoras (ARGENTA et al., 2003).

A ocorrência de invasoras nas lavouras de milho pode limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como reduzir significativamente a produtividade. As plantas daninhas apresentam elevado grau de adaptação e se perpetuam com maior facilidade, pois têm alta capacidade de germinação, desenvolvimento e reprodução em condições climáticas adversas, como estresse hídrico ou umidade excessiva, temperaturas extremas, baixa fertilidade, elevada salinidade, acidez ou alcalinidade (EMBRAPA, 2017).

O grau de interferência de plantas daninhas sobre uma determinada cultura depende de diversos fatores, como espécie, densidade, distribuição e, também, do período em que elas competem com a cultura pelos recursos limitados (PITELLI; DURIGAN, 1984). A competição por recursos do meio, como água, luz e nutrientes, na fase inicial do desenvolvimento da cultura é extremamente prejudicial e pode acarretar perdas na produtividade do milho (RAJCAN; SWANTON, 2001).

O nível tecnológico adotado também influencia sobre a expressão do potencial produtivo das plantas de milho, sendo que o controle de plantas daninhas no cultivo pode ser feito através da rotação de culturas, do controle mecânico ou químico. O controle químico, através do uso de herbicidas, é o mais utilizado em extensas áreas de plantio devido a sua ação rápida e eficaz sobre uma ampla gama de espécies de plantas daninhas (KARAM et al., 2010). No Brasil, existem 215 herbicidas registrados para a cultura do milho no Brasil e a maioria apresenta seletividade às plantas (AGROFIT, 2017), destacando-se entre aqueles aplicados em pós-emergência os ingredientes ativos Atrazine, Mesotrione, Nicosulfuron e Tembotrione (TIMOSSI, 2009).

De maneira geral, os híbridos comerciais de milho são tolerantes aos principais herbicidas registrados para a cultura do milho, incluindo o Mesotrione [2-(4-mesy1-2-nitrobenzoyl) cyclohexane-1,3-dione] (JOHNSON et al., 2002). No entanto, em trabalhos de melhoramento que visam obter novas linhagens por meio do cruzamento com híbridos comerciais tolerantes,

tem sido verificado o aparecimento de sintomas em plantas de populações segregantes, como o branqueamento das folhas, redução do crescimento e até mesmo a interferência no processo reprodutivo, seja pelo retardamento da floração ou inibição da liberação da flor feminina, denominada de boneca.

O conhecimento do controle genético de determinada característica é essencial para o processo de seleção de genótipos de interesse e para a definição de estratégias de melhoramento (CRUZ et al., 2004), bem como do manejo a ser adotado pelos produtores para o controle das plantas daninhas (VARGAS et al., 2001; CHRISTOFFOLETI; OVEJERO, 2008; ROSO; VIDAL, 2011). Os atributos genéticos de uma espécie normalmente governada por um ou poucos genes quando apresentam classes fenotípicas facilmente distinguidas umas das outras, e quantitativos quando podem ser determinados por vários genes e muito influenciados pelas condições de ambiente (ALLARD, 1971). Nesse contexto, o controle genético para tolerância aos diferentes mecanismos de ação dos herbicidas comerciais tem sido caracterizado como sendo conferido por genes com dominância completa ou incompleta (VIDAL; FLECK, 1997; CHRISTOFFOLETI; OVEJERO, 2008).

Nesse contexto, os objetivos do trabalho foram avaliar a resposta de linhagens de milho à aplicação de herbicida a base de mesotrione e elucidar o controle genético associado à tolerância visando à seleção de genótipos tolerantes ao agroquímico.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea da família Poaceae, com sistema reprodutivo predominantemente alógamo. Sua origem é datada entre 7 a 10 mil anos atrás no México e na América Central (GALINAT, 1995). Mundialmente disseminada devido a sua alta variabilidade genética, a espécie é cultivada nas mais variadas altitudes e condições ambientais (BORÉM, 2013).

No cenário agrícola brasileiro, a cultura ocupa lugar de destaque no setor de grãos, com expectativa de produção superior a 80 milhões de toneladas em uma área de cultivo de aproximadamente 15 milhões de hectares na safra e safrinha. O estado do Paraná aparece como segundo maior produtor de milho no país, com expectativa de safra na ordem de 23 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

O ciclo da cultura compreende um período vegetativo e um reprodutivo, sendo que o tempo entre os estádios de desenvolvimento pode variar em função das condições ambientais e dos genótipos (FANCELLI, 2002). A fase vegetativa tem início com a emergência das plântulas (VE) e, posteriormente, os estádios são caracterizados pelo número de folhas completamente expandidas (V1, V2, Vn). Essa fase estende-se até o pendoamento (VT), quando o último ramo do pendão está completamente visível, mas os estilos-estigmas ainda não emergiram. Inicia-se então a fase reprodutiva (R1, R2, Rn), na qual os estádios fenológicos estão diretamente relacionados ao desenvolvimento do grão. Essa fase por sua vez dura até que as plantas atinjam a maturidade fisiológica (R6) (MAGALHÃES; DURÃES, 2010).

Os primeiros trabalhos com melhoramento da cultura no Brasil datam do fim da década de 60, cujo objetivo principal era obter incrementos na produtividade (LOPES et al., 1995). Através de programas de melhoramento genético, aumentos significativos no rendimento da cultura foram alcançados e o desenvolvimento de híbridos contribuiu para o aumento nos índices de produtividade (BUENO et al., 2006).

A diversidade do material genético disponível favoreceu o sucesso do melhoramento do milho e, também, o desenvolvimento de híbridos tropicais de alto desempenho. Contudo, esses materiais não são capazes de expressar o máximo potencial produtivo quando submetidos a

condições adversas de clima e solo, práticas de manejo inadequadas ou utilização insuficiente de insumos agrícolas, o que resulta em baixos níveis de produtividade (SANGOI et al., 2006).

Segundo Alves et al. (2009), as espécies geneticamente modificadas visando resistência a danos causados por insetos, infecções virais e/ou tolerância a herbicidas contribuem para o aumento no rendimento da cultura e diminuem os custos de produção, pois utilizam menor quantidade de defensivos.

O desenvolvimento de híbridos a partir de linhagens de milho depende da identificação das melhores combinações e os cruzamentos dialélicos podem facilitar essa identificação nos programas de melhoramento (GUIMARÃES et al., 2007; SAITO et al., 2012). Através dos cruzamentos dialélicos é possível obter informações acerca das estimativas de capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação. O modelo de Griffing (1956) fornece informações a respeito da concentração de genes predominantemente aditivos e foi adaptado para fornecer também informações acerca dos cruzamentos entre dois grupos de linhagens de diferentes origens (SAITO et al., 2012).

## 2.2 INTERFERÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO MILHO

As plantas daninhas no cultivo do milho podem ocasionar perdas significativas no rendimento de grãos, pois competem por água, luz e nutrientes, assim como fonte de inóculo e podem apresentar efeito alelopático sobre a cultura (KARAM et al., 2008). As invasoras apresentam maior agressividade em relação às plantas cultivadas, as quais são selecionadas geneticamente para uma alta produtividade e uniformidade para características morfológicas e agronômicas. Com isso, a variabilidade genética das plantas cultivadas é reduzida e assim apresentam maior susceptibilidade a adversidades ambientais (PITELLI, 1985).

A cultura de milho apresenta boa capacidade de competição e sombreamento do solo, bem como alta eficiência na absorção e acúmulo de nutrientes em seus tecidos (MELHORANÇA; KARAM et al., 2017). Entretanto, a planta não é capaz de acumular nutrientes em seus tecidos e sob condições de competição, nas quais o nitrogênio seria o fator limitante, a adubação nitrogenada merece atenção especial quando observados altos níveis de infestação de plantas daninhas (KARAM et al., 2008).

A coexistência com espécies invasoras desde os primeiros estádios de desenvolvimento

do milho pode gerar danos irreversíveis a cultura, os quais se refletem na produção. A queda na produtividade do milho devido à interferência das plantas daninhas pode variar entre 15 a 87%, dependendo do grau, que por sua vez depende de fatores ligados à cultura, à comunidade infestante, ao ambiente, a época e duração do período de convivência (KOZLOWSKI, 2002). As plantas daninhas não ocasionam apenas quedas no rendimento da cultura, mas também podem reduzir a qualidade de grãos, provocar maturação desuniforme, causar perdas e dificuldades na operação da colheita e servir como hospedeiro para pragas e doenças.

O Período Anterior à Interferência (PAI) é o período em que a cultura e as plantas invasoras podem conviver sem perdas na produtividade. Esse período inicia-se com emergência da cultura até que as necessidades das daninhas e da cultura somados superem a disponibilidade do ambiente. O PTPI, Período Total de Prevenção à Interferência, compreende o período entre a emergência e o PAI (PITELLI; DURIGAN, 1984).

O Período Crítico de Prevenção à Interferência (PCPI) é o intervalo entre o final do PAI e o início do PTPI, e representa o início do controle das plantas daninhas até o momento em que as plantas daninhas que vierem a emergir posteriormente não mais interfiram na produtividade da cultura. Quando o valor do PTPI for maior que o do PAI, as plantas daninhas devem ser controladas do final do primeiro até o início do segundo período. Se o PTPI for menor que o PAI, um único controle em qualquer época entre os períodos é suficiente para prevenir perdas significativas no rendimento da cultura (PITELLI; PITELLI, 2004).

O manejo químico de plantas daninhas no cultivo do milho ainda é o principal método de controle adotado em grandes áreas devido à ação rápida, alta eficácia e relação custo benefício (KARAM et al., 2010). Contudo, a disseminação de espécies invasoras pode ser agravada pelo uso inadequado do princípio ativo de produtos químicos e da adoção de práticas culturais impróprias, ou seja, quando inobservadas as condições ambientais ideais para aplicação e o estágio de desenvolvimento das plantas (KARAM et al., 2013).

### 2.3 MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NO MILHO

Os métodos de controle adotados devem priorizar as técnicas de manejo, dentre elas o sistema de cultivo adotado, o espaçamento entre plantas, a dessecação antes da semeadura, o uso de cobertura morta e a aplicação de herbicidas em pré-emergência, e os fatores econômicos

devem ser levados em consideração a fim de avaliar as relações custo-benefício (KARAM et al., 2013).

O sistema de manejo adotado na cultura do milho contribui para a diminuição do uso de insumos e defensivos, em especial dos herbicidas que podem influenciar diretamente na resistência de plantas daninhas (KOZLOWSKI, 2002).

O manejo integrado dos métodos de controle constitui-se em uma importante ferramenta na eliminação de plantas daninhas e do banco de sementes em uma determinada área de plantio. Por isso, recomenda-se a utilização conjunta dos métodos de controle preventivo, cultural, mecânico e químico no combate a plantas daninhas na cultura do milho (KARAM, 2004).

Tabela 1. Principais fatores que afetam a resistência de plantas daninhas a herbicidas.

FATORES	CARACTERÍSTICAS
A – Genéticos	Frequência inicial da resistência. Dominância dos alelos resistentes. Tipo de fecundação. Número de alelos resistentes. Adaptação ecológica.
B – Bioecológicos	Espécie. Número de gerações por ano e taxa de reprodução. Longevidade das sementes no banco de sementes. Densidade da espécie. Suscetibilidade da planta daninha ao herbicida.
C – Agronômicos	Característica do herbicida. Grupo químico. Residual. Eficiência de controle. Dose utilizada. Práticas culturais. Utilização exclusiva de herbicidas no controle de plantas daninhas. Uso repetitivo do mesmo herbicida ou de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação. Frequência de aplicação. Sistema de cultivo.

Fonte: CHRISTOFFOLETI; OVEREJO (2008).

Segundo Karam et al. (2013), o método de controle preventivo, ainda pouco utilizado pelos produtores de milho, tem como objetivo evitar a germinação e propagação de novas espécies daninhas. A adoção de práticas preventivas, como a profilaxia de máquinas e implementos, o uso de sementes livres de contaminação e a destruição de espécies daninhas nos campos de produção de sementes, coíbem a disseminação de propágulos vegetativos e sementes

de espécies daninhas e, também, contribuem para a redução dos níveis de infestação em áreas de cultivo de milho nas safras seguintes (KARAM et al., 2008).

O método cultural engloba fatores relacionados diretamente à cultura e ao meio ambiente a fim de beneficiar o desenvolvimento e crescimento das plantas, através de técnicas como: (i) uso de variedades adaptadas às regiões; (ii) densidade de plantio; (iii) espaçamento entre plantas; (iv) época de plantio; (v) uso de cobertura do solo; e (vi) rotação de culturas (KARAM et al., 2013).

No controle mecânico é realizada a capina manual ou mecanizada. A capina manual requer alguns cuidados para evitar danos às plantas de milho, principalmente nas raízes e os custos com mão de obra são expressivos, visto o baixo rendimento em extensas áreas. A capina mecanizada é feita através de instrumentos tracionados por animais ou tratores, roçadeiras e picadores e deve ser realizada nas primeiras semanas da germinação da cultura em solos com baixa umidade e preferencialmente em dias quentes e secos (KARAM et al., 2013).

O uso de métodos de controle químico ainda é o mais empregado para grandes áreas de cultivo, visto que apresenta rápida ação e boa eficácia sobre as plantas daninhas. Os produtos registrados para controlar plantas daninhas seguem as especificações do Ministério da Agricultura e, em alguns estados, precisam também da liberação pela Secretaria Estadual da Agricultura (ADAPAR, 2017). No cenário agrícola atual, estima-se que os herbicidas sejam utilizados como método de controle em aproximadamente 70% da área cultivada com milho em todo o território brasileiro (PASINI et al., 2017).

O mesotrione (2-(4-mesy-2-nitrobenzoyl) cyclohexane-1,3-dione) está entre os herbicidas mais utilizados para a cultura do milho. Esse composto pertence ao grupo químico das tricetonas e sua aplicação seletiva em pós-emergência é capaz de controlar folhas largas anuais e gramíneas na cultura do milho (KARAM, 2004).

## 2.4 ESTUDO DOS MECANISMOS GENÉTICOS DE TOLERÂNCIA A HERBICIDAS

Atualmente, o Brasil conta com 215 herbicidas registrados para a cultura do milho (AGROFIT, 2017). Dentre os produtos pulverizados em pós-emergência, se destacam os ingredientes ativos atrazine, mesotrione, nicosulfuron e tembotrione. De acordo com Correia e

Santos (2013), alguns herbicidas podem comprometer a absorção, a translocação de nutrientes e o metabolismo das plantas quando submetidas ao tratamento, por isso são necessárias informações a respeito do efeito desses compostos sobre as plantas.

O herbicida mesotrione apresenta um mecanismo sistêmico de rápida absorção através de folhas, brotos ou raízes, e movimenta-se na planta via xilema ou floema. Ele pertence ao grupo químico das tricetonas e atua na inibição da biossíntese de carotenoides nos cloroplastos. Seu mecanismo de ação bloqueia a atividade da HPPD (4-hidroxifenil-piruvato-desidroxigenase), uma enzima de função primordial para a planta. A inibição da enzima HPPD desencadeia uma série de reações que interrompem a produção de plastoquinona e  $\alpha$ -tocoferol, gerando um estresse oxidativo. Posteriormente, a síntese de carotenoide é inibida e o processo de fotossíntese cessa, ocasionando a destruição dos cloroplastos e membranas das células, levando ao branqueamento, necrose do tecido vegetal e resultando na morte da planta (DAN et al., 2011).

Contudo, o milho pode apresentar tolerância ao mesotrione devido à produção de compostos inativos capazes de metabolizar rapidamente o herbicida (NICOLAI, 2004).

## 2.5 CARACTERIZAÇÃO DE LINHAGENS DE MILHO TOLERANTES

O teor de clorofila presente nas folhas de milho pode ser determinado através de métodos tradicionais ou não tradicionais. O método tradicional, ou destrutivo, determina o teor de clorofila através da maceração com acetona, ou outro solvente orgânico, para leitura em espectrofotômetro. Enquanto que os medidores portáteis possibilitam que as informações sejam coletadas sem destruir o material analisado, de forma rápida e prática (BALASUBRAMANIAN et al., 2000).

O nitrogênio (N), nutriente presente em grande quantidade no milho, está diretamente relacionado ao aumento no teor de clorofila, pois participa de processos de síntese desse pigmento, assim como de proteínas, enzimas e ácidos nucleicos. Portanto, a baixa disponibilidade de nitrogênio pode limitar a formação de grãos no milho (CANTARELLA, 1993).

Outro método utilizado é a comparação do teor relativo de clorofila na folha, no qual a correlação intrínseca existente entre o teor de clorofila e o teor de N na planta traduz-se na atividade fotossintética da planta. Essa relação se deve ao fato de que 50 a 70% do N total das

folhas serem integrante de enzimas associadas ao cloroplasto (ARGENTA et al., 2003; CHAPMAN; BARRETO, 1997).

O teor de clorofila é um parâmetro importante para comparar diferenças genótípicas e o estado nutricional das plantas. Medidas que se baseiem fluorescência da clorofila por vezes são usadas como parâmetros de auxílio para apontar a resposta fisiológica de genótipos de milho em ambientes diferenciados (DURÃES et al., 2005).

Na década de 90, foi desenvolvido o clorofilômetro *Soil Plant Analysis Development* – SPAD-502 em Minolta, Japão. Esse instrumento portátil fornece leituras que são correlacionadas com o teor de clorofila presente na folha baseadas na absorvância e/ou refletância da luz pelas folhas (RICHARDSON et al., 2002). Durante a mensuração, a luz passa pela folha e é recebida por um fotodiodo de silício, no qual é convertida em sinais elétricos e depois em sinais digitais. Esses sinais passam por um microprocessador que irá calcular os valores proporcionais ao teor de clorofila presente na folha (DRISCOLL et al., 2006).

As leituras desse equipamento fornecem informações rápidas a baixo custo, o qual pode ser usado para determinar o estresse hídrico (FANIZZA et al, 1991). Devido à relação entre os níveis de nitrogênio e clorofila, o clorofilômetro SPAD-502 tem sido utilizado também para estimar os índices de nitrogênio nas folhas de plantas (AMARANTE et al., 2008).

## 2.6 METODOLOGIAS EMPREGADAS PARA ESTUDO DO CONTROLE GENÉTICO: ÊNFASE MATHER E JINKS

As características qualitativas dos organismos vivos são governadas por um ou poucos genes, e eles são distribuídos em diferentes classes, facilmente identificáveis umas das outras. Logo, esses indivíduos apresentam fenótipos com variação descontínua e são dispostos em distintas classes fenotípicas. A segregação de genes nas características qualitativas tem distribuição independente, obedecendo à segunda lei de Mendel (CRUZ et al., 2004).

As características quantitativas por sua vez apresentam distribuição contínua, que ocorre por segregação simultânea de vários genes que influenciam o caráter ou pela superposição de variações com causas não genéticas. Os caracteres quantitativos geralmente são controlados por muitos genes e são altamente influenciados pelo ambiente, o qual pode produzir efeitos sobre os

fenótipos de uma geração apesar de esses efeitos não serem herdáveis (RAMALHO et al., 2012).

A segregação independente de um grande número de genes não implica que uma mesma característica seja influenciada de maneira cumulativa, sob uma grande influência ambiental. Portanto, um gene que produz baixo efeito sobre uma característica quantitativa pode controlá-la quando em conjunto com poucos ou muitos genes (poligenes), sendo que quanto maior o número de genes que controlam o caráter mais difícil será de diferenciar as descontinuidades entre as classes fenotípicas (CRUZ et al., 2004).

As interações alélicas existentes entre os poligenes podem ser de efeito gênico aditivo, de dominância ou de sobredominância. Quando a distância entre o heterozigoto e a média é igual a zero, a interação alélica é aditiva. Se a distância do genótipo heterozigoto for igual a do homozigoto em relação à média, tem-se o efeito de dominância, e se caso for maior, o efeito observado é o de sobredominância. O efeito de epistasia, devido a interação gênica ou não-alélica, é observado quando o alelo de um gene impede que o alelo de outro gene se expresse (RAMALHO et al., 2012).

A genética quantitativa permite estudar esses caracteres quantitativos, bem como a sua herança e os elementos que determinam as suas variações. Por isso, são empregados mecanismos específicos para o estudo do controle genético em variáveis quantitativas (CRUZ et al., 2004).

Para o estudo do controle genético de caracteres qualitativos utiliza-se a metodologia descrita por Mendel, enquanto que para o estudo de características quantitativas são empregadas diferentes metodologias, dentre elas a análise de médias e de variância baseada no método proposto por Mather e Jinks (1984) e a análise dialélica (CRUZ; REGAZZI, 1997).

A análise dialélica é capaz de estimar combinações híbridas desejáveis. O modelo de Griffing (1956) é utilizado para estimar a capacidade geral de combinação (CGC) e a capacidade específica de combinação (CEC), permitindo inferir quais as melhores combinações de híbridos através dos índices observados. Outro modelo de análise de dialelos é o proposto por Jinks e Hayman (1953), que fornece informações do controle genético da característica estudada com base em medidas estatísticas oriundas de uma tabela dialélica (CRUZ et al., 2004).

A metodologia de Mather e Jinks (1984) utiliza informações das médias e das variâncias obtidas entre as populações genitoras e as populações segregantes e não-segregantes para estimar os parâmetros genéticos úteis no estudo de determinada característica. Portanto, os estudos do controle genéticos baseiam-se na análise de médias e de variâncias estimadas em indivíduos de

populações  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $F_1$ ,  $F_3$ ,  $RC_1$  e  $RC_2$  (MATHER; JINKS, 1984).

Ao avaliar as médias das gerações segregantes e não-segregantes é possível observar os efeitos gênicos envolvidos na determinação da tolerância e qual a melhor estratégia para ser empregada num programa de melhoramento. Portanto, a partir do emprego de modelos estatísticos é possível estimar os efeitos gênicos aditivos e os de dominância, incluindo os efeitos de epistasia (RAMALHO et al., 2012).

Estudos para determinar o controle genético pela metodologia descrita por Mather e Jinks (1984) têm sido utilizados para as diferentes espécies cultivadas, incluindo o milho, a fim de avaliar o controle genético para resistência a doenças, pragas, produtividade, maturidade e tolerância a herbicidas. Os trabalhos de Schuelter et al. (2003) e Lopes et al. (2007) são exemplos de aplicação dessa metodologia, os quais utilizaram a análise de médias e variâncias para o estudo do controle genético da resistência do milho à mancha de *Phaeosphaeria*, concluindo, no primeiro caso, que os efeitos gênicos epistáticos do tipo dominante-dominante contribuíram para a determinação da resistência a doença. Em trabalho realizado com feijão, Valentini et al. (2011) observaram que a resistência à murcha de *Curtobacterium* é controlada por efeitos de epistasia aditivo-dominante e dominante-dominante.

Logo, essa metodologia baseada nas médias e variâncias pode ser empregada para o estudo do controle genético na tolerância do milho ao herbicida mesotrione a fim de identificar linhagens heterogêneas, viabilizar cruzamentos entre os grupos mais dicotômicos e obter combinações com maior heterose entre as gerações (MORO et al., 2007).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios experimentais foram conduzidos na unidade experimental da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC, no município de Cascavel – PR, sobre as coordenadas geográficas 53°32' de longitude Oeste e 24°53' de latitude Sul, com altitude de 678 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa (subtropical mesotérmico úmido com inverno seco e verões quentes) com temperaturas médias anuais entre 17 e 19 °C e precipitação total anual variando de 1200 a 2000 mm (CAVIGLIONE et al., 2000). O solo é classificado como LATOSSOLO BRUNO Distrófico, de textura argilosa com boa drenagem (SANTOS et al., 2013).

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS LINHAGENS

Na safra de verão 2014/2015, 55 linhagens de milho foram empregadas para determinação dos teores de clorofila e avaliação da resposta à aplicação do herbicida mesotrione. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com 3 repetições. As parcelas experimentais foram compostas por 2 linhas de 5 metros e espaçamento entre linhas de 0,7 m.

A adubação de plantio consistiu na aplicação de 460 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 10-30-20, tendo sido suplementado em cobertura, 220 kg ha<sup>-1</sup> de uréia e 150 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. As práticas culturais adotadas, como controle fitossanitário e irrigação, foram realizadas de acordo com o manejo usualmente realizado pela empresa.

#### 3.2 AVALIAÇÃO DO TEOR DE CLOROFILA

As avaliações dos teores de clorofila foram realizadas nas plantas de milho empregando-se os métodos direto (LINCHTENTHALER, 1987) e indireto (clorofilômetro Minolta – SPAD-502). As informações contidas na bula do mesotrione recomendam que as avaliações sejam realizadas nos estádios de desenvolvimento de V3 (três folhas expandidas) e V6 (seis folhas expandidas).

As leituras com o clorofilômetro SPAD-502 foram realizadas nos estádios V3 e V6

(Figura 1), em cinco plantas, sendo três leituras por planta.



Figura 1 – Avaliação com o clorofilômetro Minolta (SPAD-502) em plantas de milho.  
Fonte: O próprio autor.

No método direto, a determinação dos teores de clorofila foi realizada pelo método destrutivo de Linchtenthaler (1987). Para tal, com o auxílio de um microtubo foi removido um disco foliar ( $\varnothing=1,8$  cm) de cada planta avaliada anteriormente pelo método indireto (SPAD-502), sendo cada repetição composta de cinco plantas.

A densidade ótica dos filtrados foi lida em Espectrofotômetro Digital SP220 nos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de 648 e 664 nm, utilizando cubetas de quartzo. A partir dessas leituras, determinou-se a concentração ( $\text{mg cm}^{-3}$ ) de clorofilas *a*, *b* e *totais* nas soluções de leitura, por meio de fórmulas propostas por Linchtenthaler (1987). Esses valores foram transformados para teores de clorofilas *a*, *b* e *totais* nas folhas, expressos em unidades de área ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) e de massa fresca ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), seguindo as recomendações de Richardson et al. (2002).

### 3.3 RESPOSTA DAS LINHAGENS À APLICAÇÃO DE MESOTRIONE

O herbicida comercial Callisto<sup>®</sup>, princípio ativo mesotrione (2-(4-mesy-2-nitrobenzoyl) cyclohexane-1,3-dione)), foi aplicado com um pulverizador costal na dosagem de 0,4 L ha<sup>-1</sup> no estágio de desenvolvimento V3, conforme as recomendações do fabricante. As linhagens foram semeadas em duas linhas de cinco metros com espaçamento de 0,7 m entre linhas, em esquema experimental de blocos casualizados, sendo que uma linha recebeu a aplicação do herbicida e a outra não.

As aplicações foram realizadas observando as condições ambientais ideais: temperatura entre 20 e 30° C, umidade relativa do ar mínima de 60% e ventos com velocidade inferior a 10 km.h<sup>-1</sup>.

A avaliação das 55 linhagens em resposta ao herbicida mesotrione foi realizada no 7º dia após a aplicação. A metodologia proposta por Gazziero (1995) foi adaptada para avaliar o efeito da toxicidade, de acordo com os sintomas apresentados pelas plantas (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição de conceitos aplicados para avaliar o grau de toxicidade.

CONCEITOS	NOTAS	DESCRIÇÃO
A	1	Sem injúria. Sem efeito sob a cultura.
B	2	Injúrias leves e/ou redução de crescimento com rápida recuperação. Efeitos insuficientes para promover reduções de produtividade.
C	3	Injúrias moderadas e/ou reduções de crescimento com lenta recuperação ou definitivas. Efeitos intensos o suficiente para promover pequenas reduções de produtividade.
D	4	Injúrias severas e/ou reduções de crescimento não recuperáveis e/ou reduções de estande. Efeitos intensos o suficiente para promover drásticas reduções de produtividade.
E	5	Destruição completa da cultura ou somente algumas plantas vivas.

Fonte: Adaptado de GAZZIERO (1995).

### 3.4 FATORES GENÉTICOS ASSOCIADOS À TOLERÂNCIA AO MESOTRIONE

As populações utilizadas no estudo do controle genético são provenientes de cruzamentos e retrocruzamentos entre linhagens tolerantes e sensíveis. O cruzamento original envolvendo a

linhagem CD11 (tolerante) e CD33 (sensível) foi realizado na safrinha de 2015, obtendo-se a população  $F_1$ , a qual foi semeada posteriormente. Durante o estágio de desenvolvimento R1 (florescimento) da  $F_1$  foi realizada a autofecundação, visando obter a população  $F_2$ , e os retrocruzamentos com as linhagens CD11 e CD33, para obter o  $RC_1$  e  $RC_2$ , respectivamente. As sementes da geração  $F_2$  foram semeadas para produção da população  $F_3$  por autofecundação.

Na safrinha 2016, as linhagens progenitoras e as populações obtidas (Tabela 3) foram semeadas em esquema experimental de delineamento de blocos casualizados, com 3 repetições. As sementes dos  $F_1$ ,  $RC_1$  e  $RC_2$  foram dispostas em duas linhas de plantio e os  $F_3$  em apenas uma linha de cinco metros, por repetição.

Tabela 3. Descrição dos genitores e cruzamentos avaliados nos experimentos de tolerância ao herbicida mesotrione na empresa COODETEC, Cascavel – PR, 2015.

GERAÇÕES	GENITORES E CRUZAMENTOS	CARACTERIZAÇÃO
$P_1$	CD11	Linhagem Tolerante
$P_2$	CD33	Linhagem Sensível
$F_1$	CD33 x CD11	Geração híbrida
$F_3$	CD33 x CD11	População segregante
$RC_1$	CD33 x $F_1$	População segregante
$RC_2$	CD11 x $F_1$	População segregante

Fonte: O próprio autor.

No 7º dia após a aplicação, os tratamentos foram avaliados quanto ao grau de toxicidade ao herbicida utilizando a adaptação da escala de Gazziero (1995) e para a determinação indireta dos níveis de teores de clorofila foi utilizado o clorofilômetro SPAD-502.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### 3.5.1. Caracterização de linhagens

Os valores de teor de clorofila, teor de carotenoides e valores do SPAD-502 obtidos foram submetidos à análise de variância (anova) e, quando necessário, realizado o agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Além disso, estimaram-se os coeficientes de correlação

de Pearson entre todas as características avaliadas no experimento. Todas as análises estatísticas foram feitas com o auxílio do *software* estatístico GENES (CRUZ, 2013).

### 3.5.2. Avaliação do controle genético

Para o estudo do controle genético da tolerância ao herbicida mesotrione empregou-se a metodologia descrita por Mather e Jinks (1984), a qual utiliza informações das médias e das variâncias entre as populações genitoras e as populações segregantes e não-segregantes para estimar parâmetros genéticos úteis aos programas de melhoramento genético. Os parâmetros genéticos das gerações P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>3</sub>, RC<sub>1</sub> e RC<sub>2</sub> foram estimados e interpretados com base nas médias e variâncias obtidas em resposta à aplicação do herbicida mesotrione.

A avaliação das médias das gerações segregantes e não-segregantes permite verificar os efeitos gênicos envolvidos na determinação da tolerância ao herbicida. Quando as médias das diferentes gerações não são avaliadas com a mesma precisão, Mather e Jinks (1984) recomendam que a estimação de parâmetros seja feita pelo método dos mínimos quadrados ponderados, onde: *a*: expressa efeitos aditivos; *d*: expressa efeitos desvios de dominâncias; *aa*: expressa medida das interações aditiva x aditiva entre dois genes; *ad*: é medida de todas as interações aditiva x dominante entre dois genes; e *dd*: medida de todas as interações dominante x dominante entre dois genes.

Com o intuito de simplificar o modelo, realizou-se uma nova análise testando a adequação do modelo aditivo-dominante com o emprego do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), que expressa o grau de similaridade entre os valores estimados e observados. Após a estimação dos parâmetros o modelo completo e o simplificado, testou-se a significância pelo teste t (p<0,05).

O estudo quantitativo da tolerância ao herbicida mesotrione estimou, com base na variância, os parâmetros genético e ambiental por diferentes expressões conforme as gerações. Usualmente, os parâmetros genéticos são obtidos por meio de componentes de variância das gerações P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>3</sub>, RC<sub>1</sub> e RC<sub>2</sub>. Considerando a variância genotípica de uma população qualquer se utilizam as seguintes equações:

$$\sigma_g^2 = D(v + a)^2 + H(v + a)^2 + R(v - a)^2 - (\mu g)^2$$

$$\sigma_g^2 = a^2[(D + R) - (D - R)^2] + d^2H(1 - H) - 2adH(D - R)$$

Em que:

$$\sigma_g^2 = \text{variância genotípica}$$

$$\mu_g = \text{taxa de mutação genética}$$

$a$  = valor genotípico codificado do homocigoto

$d$  = valor genotípico codificado do heterocigoto

As variâncias dos genótipos e das gerações derivadas são obtidas por meio das seguintes informações:

Tabela 4. Expressões para o cálculo da variância genotípica.

GENÓTIPO	VALOR GENOTÍPICO	Nº DE INDIVÍDUOS	FREQUÊNCIA GENOTÍPICA
AA	$u + a$	1	D
Aa	$u + d$	2	H
aa	$u - a$	3	R

Decompondo a variância fenotípica ( $\sigma_f^2$ ) em variância genotípica ( $\sigma_g^2$ ) e variância atribuída ao meio ( $\sigma_m^2$ ), tem-se:

$$\sigma_{f(p1)}^2 = \sigma_{m(p1)}^2 = \sigma_{(p1)}^2$$

$$\sigma_{f(p2)}^2 = \sigma_{m(p2)}^2 = \sigma_{(p2)}^2$$

$$\sigma_{f(f1)}^2 = \sigma_{m(f1)}^2 = \sigma_{(f1)}^2$$

$$\sigma_{f(f3)}^2 = \sigma_{g(f3)}^2 + \sigma_{m(f3)}^2 = \frac{6}{8} \sigma_a^2 + \frac{3}{16} \sigma_d^2 + \sigma_{m(f3)}^2 = \frac{3}{2} \sigma_a^2 + \frac{3}{4} \sigma_d^2 + \sigma_{m(f3)}^2$$

$$\sigma_f^2(rc_1) = \sigma_g^2(rc_1^0) + \sigma_m^2(rc_1^0) = \frac{1}{2}\sigma_a^2 + \frac{3}{16}\sigma_{ad}^2 - \frac{1}{4}\sigma_{ad}^2 + \sigma_m^2(rc_1^0)$$

$$\sigma_f^2(rc_2^0) = \sigma_g^2(rc_2^0) + \sigma_m^2(rc_2^0) = \frac{1}{2}\sigma_a^2 + \frac{3}{16}\sigma_d^2 - \frac{1}{4}\sigma_{ad}^2 + \sigma_m^2(rc_2^0)$$

$$\sigma_f^2(rc_1^0) + \sigma_g^2(rc_2^0) = \sigma_a^2 + \frac{3}{8}\sigma_d^2 + \sigma_m^2(rc_1^0) + \sigma_m^2(rc_2^0)$$

Os componentes genéticos da população segregante F<sub>3</sub> apresenta a seguinte expressão:

$$\sigma_m^2(fa) = \frac{1}{4}[\sigma_{(p1)}^2 + \sigma_{(f1)}^2 + \sigma_{(p2)}^2]$$

A variância fenotípica e variância ambiental na geração segregante F<sub>3</sub> é expressa pela equação:

$$\sigma_g^2(fa) = \sigma_f^2(fa) - \sigma_m^2(fa)$$

Os componentes de variância aditiva ( $\sigma_{a(fa)}^2$ ) e do desvio da dominância ( $\sigma_{d(fa)}^2$ ) nas gerações de retrocruzamento ou segregante F<sub>3</sub> são assim representados:

$$\hat{\sigma}_a^2(f_3) = \frac{3}{2}\hat{\sigma}_a^2 = 2[\hat{\sigma}_{f(rc1)}^2 + \hat{\sigma}_{f(rc2)}^2]$$

$$\hat{\sigma}_d^2(f_3) = \frac{3}{2}\hat{\sigma}_d^2 = \hat{\sigma}_{g(fa)}^2 - \hat{\sigma}_a^2$$

O grau médio da dominância entre o valor genotípico codificado do heterozigoto ( $d$ ) e valor codificado do homozigoto ( $a$ ), sendo 1 ( $d=a$ ), 0 ( $d=a$ ),  $> 1$  ( $d>a$ ) e  $< 1$  ( $d<a$ ), tem-se a classificação da interação intra-alélica dominância completa, ausência de dominância, sobredominância e dominância parcial, respectivamente. Em que:

$$(g\hat{m}d) = \frac{d}{a} \quad (\text{grau médio de dominância})$$

$$\left[\frac{3}{8}\right]^\eta = \int_{(f_3)} \quad (\text{frequência da classe extrema observada em } F_3)$$

Segundo Faria (2012), é possível estimar a herdabilidade da variância fenotípica atribuída a causa genética nas gerações P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub> e F<sub>3</sub> pela herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) através da variância das populações RC<sub>1</sub> e RC<sub>2</sub>. Enquanto que para calcular a herdabilidade no sentido restrito ( $h_r^2$ ) e amplo ( $h_a^2$ ) são utilizadas as seguintes expressões:

$$h_r^2 = \frac{\hat{\sigma}_{a(f_3)}^2}{\hat{\sigma}_{f(f_3)}^2} = \frac{\hat{\sigma}_{a(f_3)}^2}{\hat{\sigma}_{a(f_3)}^2 + \hat{\sigma}_{d(f_a)}^2 + \hat{\sigma}_{m(f_a)}^2}$$

$$h_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_{g(f_3)}^2}{\hat{\sigma}_{f(f_3)}^2} = \frac{\hat{\sigma}_{g(f_3)}^2}{\hat{\sigma}_{g(f_3)}^2 + \hat{\sigma}_{m(f_3)}^2}$$

Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante o emprego do *software* estatístico GENES (CRUZ, 2013).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DE LINHAGENS PARA TEORES DE CLOROFILA, CAROTENOIDES E ÍNDICE SPAD

Pelos resultados da análise de variância (Tabela 5), detecta-se diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F para SPAD3, SPAD6, CAROT3 e CAROT6, indicando a existência de variabilidade genética entre as linhagens para esses caracteres.

Tabela 5. Resumo da análise de variância conjunta de 55 linhagens de milho para clorofilômetro em V3 (SPAD3) e V6 (SPAD6), clorofila total em V3 (CT3) e V6 (CT6), e carotenoide em V3 (CAROT3) e V6 (CAROT6) Cascavel – PR, safra 2015/16.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		SPAD3	SPAD6	CT3	CT6	CAROT3	CAROT6
Bloco	2	10,443	2,848	1,572	0,723	0,040	0,003
Tratamento	54	38,81**	31,08**	4,91 <sup>ns</sup>	4,19 <sup>ns</sup>	0,27**	0,19**
Resíduo	108	3,70	1,40	4,62	3,23	0,16	0,11
$h^2$ (%)		90,46	95,50	5,92	22,92	41,61	42,60
CVg (%)		8,26	6,30	3,32	4,56	24,27	12,35
CVg/CVe		1,78	2,66	0,14	0,31	0,49	0,50
Média		41,41	49,96	9,38	12,42	0,79	1,34
CV (%)		4,65	2,37	22,91	14,47	49,79	24,82

\*significativo a 0,05; \*\*significativo a 0,01; <sup>ns</sup> não-significativo, pelo teste F. CVg(%) = coeficiente de variação genotípica; CVg/CVe = razão do CVg com o CVe;  $h^2$  = herdabilidade.

Em relação aos coeficientes de variação experimentais, constata-se diferenças amplas em termos de magnitude, sendo que para os caracteres SPAD3 e SPAD6, os valores podem ser classificados como baixos, o que indica bons índices de precisão experimental. No entanto, para os demais atributos fenotípicos os valores observados foram altos, indicando alta dispersão dos dados experimentais.

Com a avaliação do caractere SPAD3 pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, foi possível agrupar as linhagens em quatro classes, com índices SPAD médios variando entre 34,8 a 49 (Tabela 6). As linhagens CD03, CD19, CD24, CD28, CD30, CD36, CD46, CD51, CD52 e CD55 foram agrupadas na Classe 1 e diferem estatisticamente das demais, sendo superiores para o índice de clorofila. A Classe 4, composta pelas linhagens CD14, CD20, CD31,

CD32, CD37, CD40, CD42, CD48 e CD49, apresentou valores médios inferiores para o índice SPAD.

Tabela 6. Comparação entre 55 linhagens elite de milho da COODETEC para o caráter SPAD3.

CLASSE	LINHAGENS ELITE	SPAD3	
		INTERVALO	MÉDIA
1	CD03, CD19, CD24, CD28, CD30, CD36, CD46, CD51, CD52 e CD55	49 – 45	47,1033 a
2	CD02, CD04, CD05, CD09, CD18, CD21, CD25, CD29, CD39, CD47 e CD53	44 – 42	43,5636 b
3	CD01, CD06, CD07, CD08, CD10, CD11, CD12, CD13, CD15, CD16, CD17, CD22, CD23, CD26, CD27, CD33, CD34, CD35, CD38, CD41, CD43, CD44, CD45, CD50 e CD54	42 – 38	39,7866 c
4	CD14, CD20, CD31, CD32, CD37, CD40, CD42, CD48 e CD49	37 – 34	36,9518 d
CV(%)			4,65

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Na avaliação realizada com o clorofilômetro no estágio fenológico V6 (SPAD6) observa-se que houve um rearranjo das linhagens entre as classes e, também, houve o incremento de uma classe (Tabela 7). A classe 5, nova classe formada, apresentou média de 44,55 e foi composta pelas linhagens CD06, CD17, CD23, CD42 e CD49, que no estágio V3 faziam parte das classes 3 e 4.

As linhagens CD19, CD24, CD28, CD36, CD46, CD52 e CD55 já demonstravam bom desempenho e mantiveram o mesmo comportamento no estágio V6, permanecendo agrupadas na classe 1 (Tabela 7). Enquanto que as linhagens CD03, CD30 e CD51 passaram da classe 1 para a classe 2, decrescendo os valores médios observados para essa característica.

A classe 3 passou de 25 linhagens no estágio V3 para 7 linhagens no V6 (CD02, CD10, CD12, CD13, CD20, CD26, CD34 e CD48), sendo que as demais linhagens foram redistribuídas nas demais classes.

Tabela 7. Agrupamento das 55 linhagens elite de milho da COODETEC para o caráter SPAD6.

CLASSE	LINHAGENS ELITE	SPAD6	
		INTERVALO	MÉDIA
1	CD04, CD11, CD16, CD18, CD19, CD24, CD28, CD36, CD43, CD46, CD47, CD52, CD53, CD54 e CD55	60 – 52	53,6155 a
2	CD03, CD05, CD07, CD08, CD09, CD15, CD21, CD22, CD25, CD27, CD29, CD30, CD31, CD32, CD33, CD38, CD45, CD50 e CD51	51 – 49	50,7210 b
3	CD02, CD10, CD12, CD13, CD20, CD26, CD34 e CD41	48 – 47	48,4125 c
4	CD01, CD14, CD35, CD37, CD39, CD40, CD44 e CD48	46 – 45	46,2501 d
5	CD06, CD17, CD23, CD42 e CD49	44 – 44	44,5603 e
CV(%)			2,37

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna estão agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

O rearranjo das linhagens entre as classes pode estar relacionado à constituição genética dos materiais, capazes de apresentar particularidades na adaptação a condições edafoclimáticas com o avanço no desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na produção de metabólitos e formação dos cloroplastos (ARAÚJO; NASS, 2002). A resposta ao aporte de nitrogênio disponibilizado devido a menor eficiência no aproveitamento nutricional, a qual influencia diretamente sobre a síntese de clorofila (LESCHEWITZ et al., 2012), pode ter influenciado essa reorganização das linhagens.

Os resultados obtidos para teor de clorofila total pelo método destrutivo (CT3 e CT6) demonstram que não houve efeito significativo entre as linhagens nos estádios de desenvolvimento V3 e V6. As 55 linhagens de milho foram agrupadas em uma única classe, pois obtiveram o mesmo desempenho em ambas as avaliações, e as médias observadas foram de 9,14 e 12,42 em V3 e V6 com coeficientes de variação de 22,91 e 14,47%, respectivamente.

Observa-se na Tabela 8 que as linhagens agrupadas em duas classes para o caráter CAROT3, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Na Classe 1 estão as 18 linhagens (CD03, CD06, CD08, CD18, CD24, CD25, CD26, CD27, CD28, CD32, CD34, CD36, CD37, CD42, CD43, CD45, CD46 e CD49) com média de 1,143. Contudo, a maioria, 37 linhagens, foram agrupadas na classe 2 com média de 0,618.

Tabela 8. Comparação entre 55 linhagens elite de milho da COODETEC para o caráter CAROT3.

CLASSE	LINHAGENS ELITE	CAROT3	
		INTERVALO	MÉDIA
1	CD03, CD06, CD08, CD18, CD24, CD25, CD26, CD27, CD28, CD32, CD34, CD36, CD37, CD42, CD43, CD45, CD46 e CD49	1,6 – 0,9	1,0683 a
2	CD01, CD02, CD04, CD05, CD07, CD09, CD10, CD11, CD12, CD13, CD14, CD15, CD16, CD17, CD19, CD20, CD21, CD22, CD23, CD29, CD30, CD31, CD33, CD35, CD38, CD39, CD40, CD41, CD44, CD47, CD48, CD50, CD51, CD52, CD53, CD54 e CD55	0,9 – 0,3	0,4023 b
CV(%)			49,79

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna estão agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

A característica carotenoide no estágio de desenvolvimento V6 apresentou uma única classe na qual todas as linhagens foram agrupadas no intervalo de 1,3 - 1,2, com média de 1,342.

Os carotenoides por sua vez são responsáveis pela proteção do aparato celular fotossintético contra danos foto-oxidativos, além de participarem do processo de fotossíntese e da absorção de energia luminosa, sendo que nas fases iniciais de desenvolvimento os teores observados nas plantas geralmente são baixos (KUHNNEN et al., 2011).

#### 4.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÕES

Pela análise dos coeficientes de variância para os diferentes caracteres avaliados, constata-se que, tanto os teores de clorofila quanto de carotenoides, são altamente influenciados pelo ambiente, o que pode comprometer o diagnóstico de plantas sensíveis ao herbicida. Nesse contexto, o emprego de uma característica correlacionada pode ser uma alternativa eficiente na identificação de plantas de interesse.

O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a 1. O sinal indica uma relação positiva ou negativa entre as variáveis, e o valor sugere a força da relação entre elas. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) permite que o escore de uma variável seja determinado pelo escore da outra.

Enquanto que uma correlação de valor zero demonstra que não há relação linear entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JUNIOR, 2010). De acordo com Dancey e Reidy (2006), o coeficiente de correlação de Pearson pode ser classificado como fraco (0,10 - 0,30), moderado (0,40 - 0,6) ou forte (0,70 - 1).

Na Tabela 9, verifica-se que a variáveis SPAD3 e SPAD6 apresentaram coeficiente de correlação 0,62, sendo considerado intermediário. Para os teores de clorofila total em V3 e V6 (CT3 e CT6) foram baixas (0,30), podendo indicar que as avaliações pelo método direto em ambos os estádios de desenvolvimento apresentam baixa dependência entre si.

Os coeficientes de correlação para as variáveis SPAD3 e SPAD6 com CAROT3 e CAROT6 não foram significativas, para as avaliações realizadas em V3 e V6, indicando independência entre os dois métodos de avaliação e os estádios de desenvolvimento das plantas de milho.

As correlações do teor de clorofila total (método destrutivo) com o clorofilômetro SPAD-502 foram sempre positivas e moderadamente associadas nos estádios de desenvolvimento do milho V3 (0,65) e V6 (0,59) (Tabela 9). Tais resultados são concordantes com os obtidos por Argenta et al. (2003), que ao avaliarem a relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível concluíram que nos três estádios avaliados (V6, V10 e R1) as leituras do clorofilômetro correlacionaram-se positivamente e moderadamente com os teores de clorofila total, com valores de 0,58, 0,76 e 0,61, respectivamente.

Tabela 9. Coeficientes de correlação simples de Pearson para as características avaliadas.

Características	SPAD3	SPAD6	CT3	CT6	CAROT3	CAROT6
SPAD3	1	0,62*	0,65*	0,27*	- 0,21 <sup>ns</sup>	- 0,25*
SPAD6		1	0,51*	0,59*	- 0,24 <sup>ns</sup>	- 0,24 <sup>ns</sup>
CT3			1	0,30*	0,73*	- 0,18 <sup>ns</sup>
CT6				1	0,72*	- 0,28*
CAROT3					1	- 0,24 <sup>ns</sup>
CAROT6						1

\*significativo a 0,05; <sup>ns</sup> não-significativo, pelo teste t.

Na literatura também são observadas correlações positivas entre a leitura do clorofilômetro e teor de clorofila extraível de folhas para outras culturas, como tomateiro, cafeeiro e espécies frutíferas (FERREIRA et al., 2006; REIS et al., 2006; JESUS; MARENCO,

2008). Segundo Argenta et al. (2003), se as correlações observadas entre a leitura com o clorofilômetro e o teor de clorofila total obtido pelo método destrutivo forem significativas e moderadamente positivas, o medidor portátil pode ser utilizado para estimar de forma adequada o teor relativo de clorofila na folha.

O clorofilômetro apresenta algumas vantagens em relação ao método destrutivo, dentre elas rápida leitura, preservação do material vegetal avaliado, baixo custo de manutenção do aparelho, análise de quantas amostras forem necessárias, o que resulta em economia de tempo e dinheiro (MALAVOLTA et al., 1997).

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DE LINHAGENS QUANTO A RESPOSTA A APLICAÇÃO DO MESOTRIONE

A avaliação das 55 linhagens em resposta ao herbicida mesotrione foi realizada no 7º dia após a aplicação (DAA), no estágio fenológico V3, adotando a adaptação da metodologia proposta por Gazziero (1995) para avaliar o grau de toxicidade observado. As linhagens foram classificadas em ordem decrescente conforme o grau de tolerância apresentado (Tabela 10).

Receberam o conceito A as 14 linhagens que não apresentaram injúrias ou sinais de toxicidade, indício de que essas linhagens são tolerantes ao herbicida mesotrione. As 22 linhagens listadas na classe B, cerca de 40%, apresentaram injúrias leves, cujos efeitos são insuficientes para ocasionar quedas no rendimento. Pouco menos de 30% das linhagens receberam o conceito C, pois apresentaram injúrias moderadas com efeitos capazes de reduzir a produtividade do milho. Foram observadas injúrias severas em 3 linhagens, as quais foi atribuído o conceito D, pois os danos apresentados pelas plantas em resposta à aplicação são suficientes para diminuir significativamente os níveis de produtividade, indicando que essas linhagens são mais suscetíveis ao mesotrione.

Nenhuma planta apresentou sintomas de completa destruição, por isso nenhuma linhagem recebeu o conceito E.

Tabela 10. Resposta das 55 linhagens à aplicação de mesotrione.

CONCEITO	LINHAGEM	NÚMERO DE LINHAGENS	PERCENTUAL
A	CD03, CD06, CD07, CD11, CD13, CD14, CD19, CD24, CD25, CD28, CD37, CD43, CD44 e CD52	14	25,5%
B	CD04, CD05, CD08, CD09, CD10, CD15, CD16, CD18, CD20, CD27, CD29, CD38, CD39, CD42, CD45, CD46, CD47, CD48, CD50, CD51, CD54 e CD55	22	40%
C	CD01, CD12, CD17, CD21, CD22, CD23, CD30, CD31, CD32, CD34, CD35, CD36, CD40, CD41, CD49 e CD53	16	29%
D	CD02, CD26 e CD33	3	5,5%

As plantas do grupo A não apresentaram injúrias ou sintomas de toxicidade, permitindo inferir que essa linhagem dispõe de mecanismos genéticos capazes de metabolizar o herbicida antes que a planta manifeste sinais de toxidez.

As linhagens do grupo D manifestaram sintomas de severa toxicidade (Figura 2), com reduções no crescimento das plantas devido à aplicação do mesotrione, fato que pode estar diretamente relacionado à susceptibilidade da planta ao herbicida. Portanto, a escolha das linhagens CD11 e CD33 como progenitores para os cruzamentos realizados ocorreu em função do grau de tolerância observado.



Figura 2 - Resposta da linhagem CD33: sem aplicação (à esquerda) e com aplicação do herbicida mesotrione (à direita).

#### 4.4 ESTUDO DO CONTROLE GENÉTICO PARA TOLERÂNCIA AO MESOTRIONE

O sucesso de um programa de melhoramento genético está diretamente ligado à existência de variabilidade genética, bem como sua relação com o valor fenotípico. Nos experimentos conduzidos a campo em programas de melhoramento, diferentes fatores podem interferir na expressão de uma característica, como variações entre plantas dentro das parcelas, variações devido à heterogeneidade entre parcelas e diferenças genéticas entre progênies. Essas variações podem ser estimadas a partir de testes de progênies para estudo da variabilidade genética existente (RESENDE; FERNANDES, 1999).

As plantas das gerações  $P_1$  e  $P_2$ ,  $F_1$ ,  $F_3$  e os retrocruzamentos foram avaliadas visualmente (sintomas foliares) e o teor de clorofila determinado pelo método indireto (clorofilômetro SPAD-502), para estudo do controle genético sobre a tolerância ao mesotrione.

As médias e variâncias obtidas através da escala de Gazziero (1995) e do clorofilômetro SPAD-502 são apresentadas nas Tabelas 11 e 12. Não foram encontrados efeitos significativos

entre as gerações avaliadas pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

Tabela 11. Emprego da adaptação da escala de Gazziero (1995) para número de plantas, média e variância da sensibilidade ao mesotrione.

Linhagem	Geração	Nº de plantas	Médias	Variâncias ( $\sigma^2$ )
CD11	P <sub>1</sub>	12	1,416	0,265
CD33	P <sub>2</sub>	12	2,833	0,333
CD11 x CD33	F <sub>1</sub>	12	2,083	0,265
CD11 x CD33	F <sub>3</sub>	347	2,158	0,393
CD33 x F <sub>1</sub>	RC <sub>1</sub>	108	1,842	0,358
CD11 x F <sub>1</sub>	RC <sub>2</sub>	132	2,022	0,342

Tabela 12. Determinação indireta dos teores de clorofila pelo SPAD-502 para número de plantas, média e variância da sensibilidade ao mesotrione.

Linhagem	Geração	Nº de plantas	Médias	Variâncias ( $\sigma^2$ )
CD11	P <sub>1</sub>	12	1.046,241	200,695
CD33	P <sub>2</sub>	10	1.041,690	385,187
CD11 x CD33	F <sub>1</sub>	12	1.065,975	1.139,794
CD11 x CD33	F <sub>3</sub>	116	1.028,726	3.445,419
CD33 x F <sub>1</sub>	RC <sub>1</sub>	48	1.099,872	1.047,038
CD11 x F <sub>1</sub>	RC <sub>2</sub>	48	1.052,275	1.609,809

A herdabilidade é um fator importante dentro do melhoramento genético, pois permite a predição de ganhos genéticos. O controle experimental, local do experimento, número de anos, métodos de estimação, características avaliadas e métodos de seleção são fatores que interferem diretamente sobre a herdabilidade (FERRÃO et al., 2008).

Pela estimação do coeficiente de herdabilidade no sentido amplo (Tabela 13), constata-se que 79,21% e 28,35% da variação total da população F<sub>3</sub> são atribuídas às causas genéticas com a avaliação pelo índice SPAD e visual, respectivamente. Já para os coeficientes de herdabilidade no sentido restrito, a magnitude foi de 75,56% para variação anotada pelo SPAD-502 e 24,77% para avaliação visual. Esses resultados indicam que as anotações realizadas com SPAD são menos influenciadas pelo ambiente e que os efeitos gênicos aditivos, detectados pela análise das variâncias, são mais importantes que os desvios de dominância.

A heterose, que pode ser definida como a superioridade dos filhos em relação à média dos pais, foi também estimada por essa metodologia. Pela análise do SPAD a heterose observada foi

positiva (22,01) enquanto que a avaliação visual apresentou valor negativo (-0,42). Esse resultado negativo pode estar relacionado ao erro experimental e aos fatores ambientais, os quais podem influenciar a expressão das características estudadas, dificultando a análise e interpretação dos fatores genéticos que controlam tais caracteres. Entretanto, ao superestimar a variância ambiental, obtida a partir da média ponderada das variâncias das gerações segregantes, a heterose também pode apresentar valores negativos (FARIA, 2012).

A heterobeltiose é um parâmetro que expressa a superioridade dos filhos em relação ao progenitor de melhor desempenho (BORÉM, 2013). Na geração F<sub>3</sub> sua estimativa apresentou valores positivos para ambos os caracteres, com exceção do P<sub>2</sub> para a análise visual.

Tabela 13. Estimativas das avaliações com SPAD-502 e análise visual para a tolerância ao mesotrione para a geração F<sub>3</sub>.

PARÂMETROS GENÉTICOS	SPAD	VISUAL
Variância Fenotípica	3445,42	0,39
Variância Ambiental	716,37	0,28
Variância Genotípica	2.729,05	0,11
Variância Aditiva	2.603,25	0,98
Variância Dominância	125,80	0,14
Herdabilidade Ampla (%)	79,21	28,35
Herdabilidade Restrita (%)	75,56	24,77
Heterose	22,01	-0,42
Heterobeltiose P <sub>1</sub>	19,73	0,67
Heterobeltiose P <sub>2</sub>	24,29	-0,75
Grau Médio da Dominância (baseado em variâncias)	0,44	0,76
Grau Médio da Dominância (baseado em médias)	9,67	0,59
Número de Genes (baseado em variâncias)	5,86	17,29

A variância genotípica foi composta na maior parte pelo componente genético aditivo, enquanto que os desvios de dominância apresentaram uma menor significância, permitindo a transferência do caráter para as gerações seguintes devido à variância aditiva (Tabela 13). Os valores observados para herdabilidade permitem inferir a ocorrência de variabilidade genética, permitindo a obtenção de ganhos genéticos mediante a seleção fenotípica de linhagens homozigóticas tolerantes ao herbicida mesotrione em gerações segregantes.

Os graus médios de dominância obtidos foram de 0,44 para SPAD e 0,76 para VISUAL,

evidenciando a importância dos efeitos poligênicos na expressão da tolerância das linhagens de milho ao mesotrione. A estimativa do número de genes envolvidos foi de 5,86 e 17,29 para SPAD e VISUAL, respectivamente, indicando que o controle dessas características é poligênico.

As estimativas e a significância da hipótese de nulidade de cada um dos parâmetros do modelo completo para os caracteres SPAD-502 e Visual, encontram-se na Tabela 14. Para ambos os caracteres avaliados, a média foi o parâmetro com maior estimativa.

Pela decomposição não-ortogonal da soma de quadrados de parâmetros (Tabela 15), verificou-se que os parâmetros média e efeito gênico aditivo explicam 94,83% e 98,90% sobre a variabilidade disponível para os caracteres Visual e SPAD-502, respectivamente. Portanto, tais resultados permitem inferir que é possível obter genótipos homozigóticos superiores na geração  $F_3$  por meio da seleção e de ganhos satisfatórios nos ciclos de seleção, pois o efeito aditivo possui elevada magnitude. Logo, os resultados sugerem que o modelo aditivo-dominante pode ser usado para melhor explicar as variações do caráter em razão da baixa contribuição das interações epistáticas.

Tabela 14. Estimativas de efeitos gênicos, obtidos pela análise das médias de seis gerações de plantas de milho avaliados pelo índice SPAD e Visual.

Parâmetro	SPAD-502			VISUAL		
	Estimativa	Variância	t	Estimativa	Variância	t
<i>m</i>	978,95	123,379	88,133	2,43	0,007	28,075
<i>a</i>	2,27	13,810	0,612	-0,70	0,012	-6,343
<i>d</i>	236,44	618,178	9,509	-1,34	0,095	-4,334
<i>aa</i>	65,01	129,301	5,717	-0,31	0,012	-2,706
<i>ad</i>	90,64	276,647	5,449	1,06	0,073	3,895
<i>dd</i>	-149,42	981,083	-4,770	0,99	0,176	2,360

*m*: médias das linhagens homozigóticas derivadas de  $F_3$ ; *a*: medida do efeito gênico aditivo; *d*: medida dos desvios da dominância; *aa*: medida das interações aditivo x dominante x dominante.

A medida apresentada, denotada por  $R^2$ , pode ser utilizada para demonstrar a importância de um fator genético específico sobre a variabilidade do caráter estudado. Logo, os efeitos genéticos mais importantes na determinação do caráter foram *m* e *a*, enquanto que o efeito *d* apresentou menor grau de importância, indicando que há a possibilidade de obter materiais homozigóticos superiores a partir da seleção nas populações derivadas  $F_3$ , assim como os ganhos

nos ciclos de seleção serão satisfatórios, uma vez que o componente de natureza aditiva é um dos mais importantes.

Analisando os dados originais pelo modelo reduzido (Tabela 16), *m* foi o parâmetro que apresentou maior estimativa, sendo os parâmetros *a* e *d* obtiveram valores negativos no modelo completo (Tabela 15). Essas estimativas negativas podem ser advindas da superestimação da variância ambiental, a qual foi estimada a partir da média ponderada na variância de gerações segregantes, podendo subestimar a variância genotípica dos caracteres quantitativos (SCHUELTER, 1999).

Tabela 15. Decomposição não-ortogonal da soma de quadrados de parâmetros pelo método de eliminação de Gauss para tolerância ao mesotrione.

Fonte de Variação	SPAD-502		VISUAL	
	SQ	R <sup>2</sup> (%)	SQ	R <sup>2</sup> (%)
<i>m/ a, d, aa, ad, dd</i>	7685,369	98,322	680,265	89,536
<i>a/ m, d, aa, ad, dd</i>	0,375	0,582	40,240	5,296
<i>d/ m, a, aa, ad, dd</i>	45,562	0,004	11,186	1,472
<i>aa/ m, a, d, ad, dd</i>	32,687	0,418	7,323	0,963
<i>ad/ m, a, d, aa, dd</i>	29,699	0,379	15,176	1,997
<i>dd/ m, a, d, aa, dd</i>	22,758	0,291	5,570	0,733
Total	7816,452	100	759,762	100

Tabela 16. Teste de nulidade de modelos não parametrizados com SPAD-502 e análise visual em seis gerações de milho para a tolerância ao mesotrione.

Parâmetro	SPAD-502			VISUAL		
	Estimativa	Variância	t	Estimativa	Variância	t
<i>m</i>	1038,579	10,879	314,874	2,211	0,003	40,194
<i>a</i>	12,938	10,803	3,936	-0,342	0,003	-5,420
<i>d</i>	55,877	65,455	6,906	-0,427	0,018	-3,108

A absorção dos herbicidas pela planta, principalmente pelas folhas, é influenciada por diferentes fatores, como a composição da superfície foliar, espessura e arranjo da cutícula, além de sofrer influências do ambiente, como temperatura e umidade do ar, e mesmo do herbicida com relação ao seu coeficiente de partição, concentração e tamanho da molécula (VIDAL, 2002). Portanto, a sensibilidade das plantas ao herbicida pode estar relacionada ao local de aplicação do produto e as particularidades do material genético.

A partir dos resultados obtidos é possível inferir que o genótipo influenciou diretamente sobre os sintomas visuais observados e na alteração do teor de clorofila com a aplicação do mesotrione e, também, que o ambiente interfere nos resultados, sendo que as condições ambientais podem contribuir significativamente para o aparecimento de sintomas foliares.

## 5. CONCLUSÕES

- Existe variabilidade genética entre linhagens para os índices de SPAD e de teores de carotenoides para avaliações realizadas nos estádios de V3 e V6.
- As linhagens CD03, CD06, CD07, CD11, CD13, CD14, CD19, CD24, CD25, CD28, CD37, CD43, CD44 e CD52 apresentaram tolerância ao herbicida Mesotrione.
- As linhagens CD11 e CD33 apresentam índices SPAD semelhante, sendo indicadas para realização de estudos sobre controle genético.
- O controle genético para tolerância ao mesotrione é poligênico, sendo que os efeitos gênicos aditivos são mais importantes do que os desvios de dominância, indicando a possibilidade de obtenção de plantas homozigóticas tolerantes ao herbicida.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAPAR. **MAPA Suspende Fungicidas com Baixa Eficiência no Controle da Ferrugem Asiática da Soja.** Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=374>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

AGROFIT – SISTEMA DE AGROTÓXICOS FITOSSANITÁRIOS. **Consulta a produtos formulados.** Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 30 abr. 2017.

ALLARD, R.W. Princípios do melhoramento genético das plantas. **São Paulo:** Edgard Blücher, 1971. 381p.

AMARANTE C.V.T.; BISOGNIN, D.A.; STEFFENS, C.A.; ZANARDI, O.Z.; ALVES, E.O. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico. **Horticultura Brasileira**, v.26, p.471-475, 2008.

ALVES; L.R.A.; FERREIRA FILHO, J.B.S.; BALLAMINUT, C.E.C.; OSAKI, M.; RIBEIRO, R.G. Avaliação econômica de milho geneticamente modificado Resistente a insetos: MON89034 E MON810. In: Congresso Sober, 47, 2009. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2009.

ARAÚJO, P.M.; NASS, L.L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo, **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p. 589-593, jul./set. 2002.

ARGENTA, G.; SANGOLI, L.; SILVA, P. R. F. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agrária**, v.4, p.27-34, 2003.

BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A.C.; CRUZ, R.T.; THIYAGARAJAN, T.M.; NAGARAJAN, R.; BABU, M.; ABDULRACHMAN, S. e HAI, L.H. Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. **International Rice Research Institute**, p.25-26, 2000.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: UFV, 969p. 2013.

BUENO, L.C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento Genético de Plantas: Princípios e Procedimentos.** Lavras: UFLA, 2006.

CANTARELLA, H.; BÜLL, L.T. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Potafós, p.147-198. 1993.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORO, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná,** Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.4, p.557-562, 1997.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, bases e situação no Brasil e no mundo. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**, v. 3, p. 9-34, 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, sexto levantamento, março 2017**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_03\\_14\\_15\\_28\\_33\\_boletim\\_graos\\_marco\\_2017bx.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_14_15_28_33_boletim_graos_marco_2017bx.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2017.

CORREIA, N.M.; SANTOS, E.A. Teores foliares de macro e micronutrientes em milho tolerante ao *glyphosate* submetido a herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3165-3172, 2013.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, Viçosa: UFV, v. 1, 3 ed., p. 171-193. 2004.

CRUZ, C.D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DAN, H.A.; BARROSO, A.L.L.; DAN, L.G.M.; PROCÓPIO, S.O.; OLIVEIRA J.R.; CONSTANTIN, J.; FELDKIRCHER, C. Supressão imposta pelo mesotrione a *Brachiaria brizantha* em sistema de integração lavoura-pecuária. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 861-867, 2011.

DANCEY, C.; REIDY, J. Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed, 2006.

DRISCOLL, S.P.; PRINS, A.; OLMOS, E.; KUNERT, K.J.; FOYER, C.H. Specification of adaxial and abaxial stomata, epidermal structure and photosynthesis to CO<sub>2</sub> enrichment in maize leaves. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, n. 2, p. 381-390, 2006.

DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; GAMA, E.E.G.; OLIVEIRA, A.C. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.3, p.355-361, 2005.

EMBRAPA – Milho e Sorgo. **Sistema de Produção**. Versão eletrônica – 2.ed.: <[http://www.sistemaproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_2ed/plantadaninhas.htm](http://www.sistemaproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/plantadaninhas.htm)>. Acesso em: 01 Mai. 2017.

FANCELLI, A.L. **Ecofisiologia e fenologia**. Tecnologia da produção de milho (CAD - cursos de atualização à distância). Módulo 1. Piracicaba: Aldeia Norte, 2002. 51 p.

FARIA, G.M.P. **Controle genético do teor de óleo em sementes de algodão (*Gossypium spp*)**. Viçosa-MG, 2012. 87 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

FERRÃO, R.G.; CRUZ, C.D.; FERREIRA, A.; CECON, P. R.; FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A.; SILVA, M.F. Parâmetros genéticos em café *Conilon*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008.

FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R.; DANTAS, J.P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, 305:83-92, 2006.

FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JUNIOR, J.A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p.115-146, 2010.

FANIZZA, G.; RICCIARD, L; BAGNULO, C. Leaf greenness measurements to evaluate water stressed genotypes in *Vitis vinifera*. **Euphytica**, v.55, p.27-23, 1991.

GALINAT, W.C. The origin of maize: grain of humanity. **New York Botanical Garden Journal**. New York, v. 44, n. 1, p. 3-12, 1995.

GAZZIERO, D.L.P. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência de Plantas Daninhas, 42 p. 1995.

GUIMARÃES, P.S.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; LUDERS, R.R.; SOUZA, A.P. LABORDA, P.R.; OLIVEIRA, K.M. Correlação da heterose de híbridos de milho com divergência genética entre linhagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.6, p. 811-816, 2007.

GRIFFING, B. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. **Heredity**, Essex, v.10, p.31-50, 1956.

JESUS, S.V.; MARENCO, R.A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazônica**, v. 38, p. 815-818, 2008.

JINKS, J.L.; HAYMAN, B.I. The analysis of diallel crosses. **Maize Genetics Cooperation Newsletter**, Columbia, v. 27, p. 48-54, 1953.

JOHNSON, W.G.; WAIT, J.D.; HOLMAN, C.S. Mesotrione programs of now center weed. **Science Society Resistant**, p. 225-226. 2002.

KARAM, D. **Características do herbicida mesotrione na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 52. 5 p. 2004.

KARAM, D.; MELHORANÇA, A.L.; OLIVEIRA, M.F. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 517 p.

KARAM, D.; MELHORANÇA, A.L.; OLIVEIRA, M.F.; SILVA, J.A.A. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. 6 ed. 2010.

KARAM, D.; GAZZIERO, D.L.P.; VARGAS, L.; SILVA, A.F. da. **Milho transgênico e manejo de plantas daninhas em milho**. In: XII Seminário Nacional de Milho Safrinha, 26 a 28 de Novembro de 2013, Dourados, MS. Anais... Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93697/1/Milho-transgenico.pdf>> Acesso em 12 Mai. 2017.

KOZLOWSKI, L.A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.20, n.3, p.365-372, 2002.

KUHNEN, S. et al. Carotenoid and anthocyanin contents of grains of Brazilian maize landraces. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, p. 1548-1553, 2011.

LESCHEWITZ, R.; SOUZA, V.Q.; CARON, B.O.; BORELLA, J.; CARVALHO, I.R.; BUSANELLO, C.; NARDINO, M.; FERRARI, M.; BELLÉ, R. **Determinação do Índice de Clorofila em Populações de Milho Crioulo em Diferentes Partes da Folha**. IN: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Águas de Lindóia, 26 a 30 de Agosto de 2012. Anais...

LOPES, M.A.; SANTOS, M.X. dos; PARENTONI, S.N.; GUIMARÃES, P.E. de O.; GAMA, E.E.G.; SILVA, Á.E. da; CORRÊA, L.A.; PACHECO, C.A.P.; MAGNAVACA, R. **O programa de melhoramento de milho do Centro Nacional de pesquisa de milho e sorgo**. CNPMS/EMBRAPA/BRASIL. Sete Lagoas, MG, Brasil. 1995.

LOPES, M.T.G.; LOPES, R.; BRUNELLI, K.R.; DA SILVA, H.P.; MATIELLO, R.R.; CAMARGO, L.E.A. Controle genético da resistência à mancha de *Phaeosphaeria* em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 605-611, 2007.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Ecofisiologia**. In: CRUZ, J. C. (Ed). Cultivo do milho. (Manual Técnico). 2010.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 319p. 1997.

MATHER, K.; JINKS, J.L. **Introdução à genética biométrica**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 242p. 1984.

MELHORANÇA, A.L., KARAM, D. **Embrapa milho e Sorgo: Sistema de Produção. Apresenta informações técnicas a respeito do manejo de plantas daninhas no sistema de cultura de milho (*Zea mays* L.)**. Disponível em: <<http://cnpms.embrapa.br/publicações/milho/plantasdaninhas/htm>>. Acesso em: 15. Abr. 2017.

MORO, J.R.; SILVEIRA, F.T.; CARGNELUTTI-FILHO, A. Dissimilaridade genética em sessenta e quatro linhagens de milho avaliadas para resistência ao complexo enfezamento. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.7, p.153-160, 2007.

NICOLAI, M. **Desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.) submetida à aplicação de herbicidas pós-emergentes, em diferentes situações de manejo.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

PASINI, R.A.; GRÜTZMACHER, A.D.; SPAGNOL, D.; ZANTEDESCHI, R.; FRIEDRICH, F.F. Persistence of desiccant herbicides applied to transgenic maize on *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 175-181, 2017.

PITELLI, R.A.; DURIGAN, J.C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15, 1984, Belo Horizonte. **Resumos...** Piracicaba: SBHED, p.37. 1984.

PITELLI, R.A. Interferências de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

PITELLI, R.A.; PITELLI, R.L.C.M. Biologia e ecofisiologia das plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Eds.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, p. 29-56. 2004.

RAJCAN, I.; SWANTON, C.J. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.71, n.2, p.139-150, 2001.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.D.F.; SANTOS, J.D.; NUNES, J.A.R. Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. **Lavras: UFLA**, 2012.

REIS, A.R.; JUNIOR, E.F.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p.163-171, 2006.

RESENDE, M.D.V.; FERNANDES, J.S.C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística**, Marília, v.17, n. 1, p. 87-109, 1999.

RICHARDSON, A.D.; DUIGAN, S.P.; BERLYN, G.P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**, Lancaster, v. 153, n. 1, p. 185- 194, 2002.

ROSO, A.C.; VIDAL, R.A. Culturas resistentes aos herbicidas inibidores da enzima ALS. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**. 21:13-24, 2011.

SAITO, B.C; ZACARIN, D. M; ANDRADE, J.A. da C. Caracterização de Linhagens de Milho, Oriundas de Populações Braquíticas, para Produção de Híbridos para Primeira Safra. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. **Anais...** Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; SILVA, P.R.F. da; HORN, D., SCHIMITT; A.; SCHWEITZER, MOTTER, F. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.747-755, 2006.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIRA, J.A.; CUNHA, T.J.F; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 342p. 2013.

SCHUELTER, A.R. **Análise genética e da pós-colheita de um mutante de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. 1999. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

SCHUELTER, A.R.; DE SOUZA, I.R.P.; TAVARES, F.F.; DOS SANTOS, M.X.; DE OLIVEIRA, E.; GUIMARÃES, C.T. Controle genético da resistência do milho à mancha por *Phaeosphaeria*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 01, 2003.

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

VARGAS, L.; BORÉM, A.; SILVA, A. A. Herança da resistência aos herbicidas inibidores da ALS em biótipos da planta daninha *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, 19: 331-336, 2001.

VALENTINI, G.; DA CRUZ BALDISSERA, J.N.; MORAIS, P.P.P.; STÄHELIN, D.; HEIDEMANN, J.C.; STENGER, F.; COIMBRA, J.L.M. Herança da resistência em feijoeiro à murcha causada por *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 9, p. 1045-1052, 2011.

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

VIDAL, R.A.; FLECK, N.G. Análise do risco da ocorrência de biótipos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas. **Planta Daninha**, 15:152-161, 1997.