

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS
CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

TOLERÂNCIA DE LINHAGENS DE MILHO IRRIGADO AO HERBICIDA TEMBOTRIONE

Autor: Eliel Matheus Sousa
Orientador: Prof. Dr. Hyrandir Cabral de Melo
Coorientador: Prof. Dra. Dalva Graciano Ribeiro

CERES - GO
Maio – 2021

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS
CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

TOLERÂNCIA DE LINHAGENS DE MILHO IRRIGADO AO HERBICIDA TEMBOTRIONE

Autor: Eliel Matheus Sousa
Orientador: Prof. Dr. Hyrandir Cabral de Melo
Coorientador: Prof. Dra. Dalva Graciano Ribeiro

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres – Área de concentração Irrigação.

CERES - GO
Maio – 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SS0725 Sousa, Eliel Matheus
t TOLERÂNCIA DE LINHAGENS DE MILHO IRRIGADO AO
 HERBICIDA TEMBOTRIONE / Eliel Matheus Sousa;
 orientador Hyrandir Cabral de Melo; co-orientadora
 Dalva Graciano Ribeiro. -- Ceres, 2021.
 60 p.

 Dissertação (Mestrado em Mestrado Profissional em
 Irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano,
 Campus Ceres, 2021.

 1. Zea mays. 2. plantas daninhas. 3.
 fitotoxicidade. 4. irrigação. I. Melo, Hyrandir
 Cabral de, orient. II. Ribeiro, Dalva Graciano, co-
 orient. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS
CERES

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

TOLERÂNCIA DE LINHAGENS DE MILHO IRRIGADO AO HERBICIDA TEMBOTRIONE

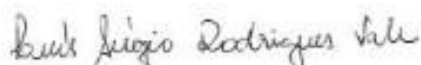
Autor: Eliel Matheus Sousa

Orientador: Prof. Dr. Hyrandir Cabral de Melo

Coorientador: Prof. Dra. Dalva Graciano Ribeiro

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado - Área de Concentração Irrigação

APROVADA em: 14 maio de 2021.



Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale
Avaliador interno
IF Goiano - Campus Ceres



Dr. Frederico Rocha Rodrigues Alves
Avaliador externo
Universidade Federal de Goiás-UFG



Prof. Dr. Hyrandir Cabral de Melo
Orientador
Universidade Federal de Goiás-UFG

Dedico este trabalho a Deus, o criador do céu e da terra, por ter me dado força, capacidade, sabedoria e saúde para mais esta conquista na minha vida. Aos meus pais, Wesley Leal de Sousa e Edna Maria Braga de Sousa, à minha esposa, pela compreensão, e a toda a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por cada dia da minha vida, por ter me dado saúde, força nos momentos mais difíceis, permitindo que esse sonho fosse realizado.

Aos meus pais, Wesley Leal de Sousa e Edna Maria Braga de Sousa, e em especial à minha esposa Mariane Rezende Mourato Sousa, por vocês terem sempre acreditado em mim, me apoiando e me incentivando do início ao fim desse projeto.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, pela estrutura e suporte oferecidos para o desenvolvimento do curso, e ao seu corpo docente, direção e administrativo, pela contribuição.

À empresa Limagrain Brasil S.A., na pessoa de Paulo Dantas, Rayner de Paula e Benedito Oliveira, por ter me disponibilizado todos os equipamentos, espaço da empresa e contribuição com dicas e apoio na pesquisa e no experimento.

Ao meu orientador, Hyrandir Cabral de Melo, pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho, bem como pelas correções, compreensão e incentivos.

À Profa. Dra. Anieli Pilar Campos de Melo, pelas sugestões, contribuições na análise estatística, interpretação de dados e incentivos.

A todos os meus amigos, em especial Rafael Matias da Silva, por me incentivar e inspirar nas etapas desse projeto.

A todas as pessoas da minha família que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho, o meu muito obrigado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ELIEL MATHEUS SOUSA, filho de Wesley Leal de Sousa e Edna Maria Braga de Sousa, nasceu em 21 de dezembro de 1992 em Goianésia – GO. Em 2011, ingressou no curso de Bacharelado em Agronomia da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, tendo recebido em agosto de 2016 o título de Bacharel em Agronomia. Em 2018, ingressou no curso de MBA executivo em gestão de produção e qualidade da Universidade Cândido Mendes - UCAM, tendo recebido em abril de 2020 o título de Especialização, intitulado MBA executivo em gestão de produção e qualidade. Em 2019, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado no Instituto Federal Goiano - Campus Ceres (IF Goiano), desenvolvendo a dissertação intitulada TOLERÂNCIA DE LINHAGENS DE MILHO IRRIGADO AO HERBICIDA TEMBOTRIONE, sob a orientação do professor Dr. Hyrandir Cabral de Melo, com defesa em 14/05/2021.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados climatológicos no dia da aplicação do herbicida no experimento, Goianésia, GO, 2019.....	26
Tabela 2 - Características químicas e físicas do solo (0-20 cm) da área experimental, Goianésia, GO, (2019)	26
Tabela 3 - Valores de Kc para cultura do milho	30
Tabela 4 - Escala percentual de fitotoxicidade	30
Tabela 5 - Níveis de significância, de acordo com o Teste F, do tratamento estatístico de doses de tembotrione e dias após a aplicação em variáveis fisiológicas em plantas de milho pertencentes a distintas linhagens. fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), gs: condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), E: transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).....	33
Tabela 6 - Efeito do período pós-aplicação de tembotrione na fotossíntese líquida ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Fv/Fm de linhagens de plantas de milho.....	34
Tabela 7 - Efeito de doses de tembotrione na fotossíntese líquida ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e transpiração (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de linhagens de plantas de milho	35
Tabela 8 - Significância estatística de linhagens, doses de tembotrione e interação destes fatores com os atributos avaliados	43
Tabela 9 - Resposta produtiva de linhagens de milho submetidas à aplicação de diferentes doses de tembotrione	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sítios de atuação dos herbicidas inibidores da síntese de carotenoides dos subgrupos F1, F2 e F3.	20
Figura 2. Estrutura química do tembotrione	22
Figura 3. Temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar da estação meteorológica localizada no município de Goianésia, GO.....	26
Figura 4. Tanque Classe A e abrigo para termo-higrômetro instalado no local do experimento	28
Figura 5. Modelos de superfície de resposta de análises fisiológicas das linhagens de milho Z9999L e ZKQMR2557L submetidas à aplicação de tembotrione	36
Figura 6. Modelos de superfície de resposta de análises fisiológicas das linhagens de milho PGAG10051L e G55081L submetidas à aplicação de tembotrione	37
Figura 7. Modelos de superfície de resposta de análise visual da tolerância das linhagens de milho submetidas à aplicação de tembotrione.....	38
Figura 8. Avaliação visual de fitotoxicidade aos 07, 14 e 21 DAA do herbicida tembotrione em linhagens de milho	39

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.

Símbolo /Sigla	Significado	Unidade de Medida
%	Porcentagem	-
A	Fotossíntese líquida	-
ACCase	Acetil-CoA Carboxilase	-
Al ²⁺	Alumínio	cmolc kg ⁻¹
Ca ²⁺	Cálcio	cmolc kg ⁻¹
CTC	Capacidade de troca de cátions	-
DAA	Dias após aplicação	-
DAS	Dias após a semeadura	-
E	Transpiração	μmol fótons m ⁻² s ⁻¹
ECA	Evaporação de água livre no tanque	mm
ETc	Evapotranspiração da cultura	mm
ETo	Evapotranspiração de referência	mm
EVT	Evapotranspiração	-
FDS	Fitoeno dessaturase	-
FSII	Fotossistema II	-
FV/FM	Fluorescência	μmol fótons m ⁻² s ⁻¹
GE	Grãos por espiga	-
Gs	Condutância estomática	μmol fótons m ⁻² s ⁻¹
H	Hidrogênio	-
ha ⁻¹	Hectare	-
HPPH	4-hidroxifenil-piruvato oxigenase	-
K	Potássio	mg dm ³
Kg	Quilograma	-
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare	-
Kp	Coefficiente do tanque	-
L	Litros	-
L ha ⁻¹	Litros por hectare	-
M	Metros	-

Símbolo /Sigla	Significado	Unidade de Medida
m (análise de solo)	Saturação do alumínio	%
Mg	Magnésio	cmolc kg ⁻¹
mg dm ⁻³	Miligrama por decímetro cúbico	-
ml	Mililitros	-
Mm	Milímetros	-
mm dia ⁻¹	Milímetro por dia	-
M.O.	Matéria orgânica	-
N	Nitrogênio	-
NaOH	Hidróxido de sódio	-
P	Fósforo	mg dm ⁻³
PA	Produto acabado	-
PH	Potencial hidrogeniônico	-
PQ	Plastoquinona	-
PROD	Produtividade	-
V	Saturação por bases	%

Sumário

RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Importância econômica da cultura do milho	14
2.2 Morfologia e fases fenológicas	14
2.3 Importância da irrigação na cultura do milho	15
2.4 Linhagens x híbrido	16
2.5 Linhagens	17
2.6 Importância dos inibidores da biossíntese de carotenoides na cultura do milho	18
2.7 Tembotrione	22
2.8 Efeito do tembotrione sobre o desenvolvimento e produção de milho	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Caracterização da área experimental	25
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	25
3.3 Implantação do experimento	26
3.4 Manejo da irrigação	28
3.5 Variáveis analisadas para cada delineamento:	30
3.6 Análise estatística	31
4. RESULTADOS	32
5. DISCUSSÃO	45
6. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

RESUMO

SOUSA, ELIEL MATHEUS. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres/GO, maio de 2021. **Tolerância de linhagens de milho irrigado ao herbicida tembotrione.** Orientador: Dr. Hyrandir Cabral de Melo e Coorientadora: Prof^a. Dra. Dalva Graciano Ribeiro.

As linhagens de milho, pelo seu elevado nível de homozigose, têm comportamentos diferentes dos híbridos comerciais em relação aos efeitos causados por fatores fitossanitários, podendo torná-las mais susceptíveis. O controle de plantas daninhas na agricultura é essencial para evitar competição e prejuízos, podendo as linhagens ser muito sensíveis aos herbicidas utilizados na cultura do milho. O princípio ativo tembotrione é muito utilizado em campos de produção de sementes em pós-emergência. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a tolerância de seis linhagens de milho irrigado ao herbicida tembotrione nas condições edafoclimáticas do Cerrado. Os experimentos foram implantados no período de seca, de maio a setembro de 2019, com irrigação por aspersão convencional, no município de Goianésia-Goiás. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas com dois fatores: o primeiro fator corresponde às seis linhagens de milho (Z9999L, ZKQMR3257L, 551CB, PGAG10051L, G55081L, N34G34381L) e o segundo, às doses do herbicida tembotrione (0; 120; 240; e 480 mL ha⁻¹), com quatro repetições. As aplicações foram feitas no estágio fenológico V3. As variáveis avaliadas foram grãos por espiga (GE), produto acabado (PA), produtividade (kg ha⁻¹) (PROD), fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), Fv/Fm e nota visual. As avaliações visuais e fisiológicas foram feitas aos 7, 14 e 21 dias após aplicação (DAA) do herbicida. Verificou-se que não houve sintoma de toxicidade (Nota Visual) no genótipo 43NG34381L com a aplicação de 480 mL ha⁻¹, duas vezes a dose recomendada, tendo sido o mais tolerante ao herbicida. As linhagens Z9999L, G55081L e 551CB, embora sensíveis ao tembotrione na dose recomendada, tiveram notas visuais de toxicidade baixas, sem nenhum sintoma aos 14 e 21 DAA. As linhagens ZKQMR2357L e PGAG10051L foram as mais sensíveis à aplicação do herbicida tembotrione e mantiveram sintomas de toxidez em todas as avaliações com a aplicação de 240 mL ha⁻¹ da dose de bula recomendada. As linhagens Z9999L, ZKQMR2557L e 43NG4381L, embora tivessem tido decréscimo nas variáveis de produção avaliadas à medida que se aumentou a concentração do tembotrione, a tendência de decréscimo só foi ajustável à regressão linear de forma significativa à linhagem Z9999L.

Palavras-chave: *Zea mays*, plantas daninhas, fitotoxicidade, irrigação

ABSTRACT

SOUSA, ELIEL MATHEUS. Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute), Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, May 2021. **Tolerance of irrigated maize lines to tembotrione herbicide.** Advisor: Prof. Dr. Melo, Hyrandir Cabral and Co-advisor: Prof. Dr. Ribeiro, Dalva Graciano.

Corn lines have different behavior from commercial hybrids due to their high level of homozygosity, in relation to the effects caused by phytosanitary factors, which may make them more susceptible. Weed control in agriculture is essential to avoid competition and damage, and the lines can be very sensitive to herbicides used in maize crop. The active ingredient tembotrione is widely used in post-emergence in seed production fields. Therefore, this paper aimed to evaluate the tolerance of six irrigated corn lines to the tembotrione herbicide under the edaphoclimatic conditions of the Cerrado (Brazilian Savannah). The experiments were carried out under dry season, from May to September 2019, with conventional sprinkler irrigation, in the municipality of Goianésia, Goiás State (GO), Brazil. The experimental design was in randomized blocks, arranged in split plots with two factors; the first factor was corresponding to the six corn lines (Z9999L, ZKQMR3257L, 551CB, PGAG10051L, G55081L, and N34G34381L) and the second factor was corresponding to the doses of tembotrione herbicide (0, 120, 240, and 480 mL ha⁻¹) with four replicates. Applications were carried out at the V3 phenological stage. The variables evaluated were: (a) grains per ear (GE); (b) finished product (FP); (c) productivity (kg. ha⁻¹) (PROD); (d) photosynthesis (A); (e) stomatal conductance (*g_s*); (f) evapotranspiration (*E*); (g) the potential quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm); and (h) the visual note of phytotoxicity (NF). Visual and physiological evaluations were carried out at seven, fourteen, and twenty-one days after herbicide application (DAA). It was found that there were no symptoms of toxicity (Visual Note) in the 43NG34381L genotype with the application of 480 mL ha⁻¹, twice the recommended dose, being the most tolerant to the herbicide. The Z9999L, G55081L, and 551CB lines present low visual effects of toxicity, without any symptoms at fourteen and twenty-one DAA, although sensible to tembotrione at the recommended dose. The ZKQMR2357L and PGAG10051L lines were the most sensitive to the application of the tembotrione herbicide and showed symptoms of toxicity in all evaluations with the application of 240 mL ha⁻¹ of the recommended dose in package. For Z9999L, ZKQMR2557L, and 43NG4381L lines, the downward trend was only significantly adjustable to linear regression for the Z9999L lineage, although there was a decrease in the production variables evaluated as the concentration of tembotrione increased.

Keywords: *Zea mays*. Irrigation. Phytotoxicity. Weeds

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais cultivadas e consumidas em todo mundo, sendo considerado o cereal mais importante no cenário econômico em função do seu emprego na alimentação humana e animal (Maximiano, 2017). Na safra de 2019/2020, o Brasil exportou 29,5 milhões de toneladas de milho (FAO, 2019). De acordo com dados divulgados pela CONAB (2020), a produção de milho foi superior a 100 milhões de toneladas em 17,493 milhões de hectares na safra 2019/2020.

Entre os fatores bióticos que interferem na cultura do milho, estão as plantas daninhas, que causam perdas significativas pela sua elevada capacidade de adaptação a diversos ambientes e situações de estresses, interferindo em qualquer estágio do desenvolvimento da cultura. Os principais métodos para controle das plantas daninhas são o preventivo, mecânico, cultural, químico e o biológico. O método químico por meio dos herbicidas é o mais utilizado nas lavouras de milho, visto apresentar rápida ação e boa eficácia sobre as plantas daninhas (Vargas et al., 2006).

De acordo com Pasini et al. (2017), estima-se que os herbicidas sejam utilizados como método de controle em aproximadamente 70% da área cultivada com milho em todo o território nacional. Entre os herbicidas recomendados para a cultura do milho, aqueles do grupo das sulfonilureias necessitam da observação de fatores que, quando negligenciados, podem interferir em sua seletividade à cultura, como no momento fenológico de aplicação, híbrido utilizado, intervalo entre a aplicação do herbicida e na adubação nitrogenada de cobertura ou na aplicação de inseticida organo-fosforado (Christoffoleti & Lopéz-Ovejero, 2003; Grigolli et al., 2017).

Entre esses herbicidas com ação gramínicida registrados para a cultura do milho, destaca-se o princípio ativo tembotrione para uso em pós-emergência. Pertencente ao grupo químico dos tricetonas, que inibe a enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD), é amplamente utilizado para controlar amplo espectro de plantas daninhas que atuam na síntese de carotenos (Williams & Pataky, 2010), controlando várias espécies de plantas daninhas, tanto dicotiledôneas como monocotiledôneas (Abit et al., 2009).

Este herbicida é móvel tanto no floema quanto no xilema, sendo a mobilidade via floema fundamental na distribuição pelos tecidos meristemáticos de folhas, raízes e regiões de crescimento, acumulando-se nos cloroplastos (Van Almsick et al., 2009). De acordo com Bollman et al. (2008) e Walsh et al. (2012), os herbicidas do grupo HPPD são muito utilizados para o controle de plantas

daninhas pelo seu amplo espectro e compatibilidades de mistura em tanque de pulverizadores com outros herbicidas e pela maior segurança para a cultura.

Segundo Bollman et al. (2008), o tembotrione tem obtido desempenho satisfatório no controle de plantas daninhas na cultura do milho e, ao ser comparado com os herbicidas mesotrione e topamesone, tem se mostrado mais seletivo, causando menor injúria ao milho. De acordo com Mançanares et al. (2019), o tembotrione é extremamente seletivo à cultura do milho e pode ser aplicado em todos os estádios fenológicos avaliados (V2 a V10), conforme recomendações do fabricante.

Compreender o controle genético de características específicas é essencial para selecionar genótipos de interesse e definir estratégias de melhoramento (Freitas et al., 2013). Os atributos genéticos de uma espécie são geralmente controlados por um ou vários genes. Nesse caso, o controle genético da tolerância a diferentes mecanismos de ação de herbicidas comerciais tem sido caracterizado como genes com dominância completa ou incompleta (Christoffoleti & Ovejero, 2008).

De maneira geral, os híbridos comerciais de milho são tolerantes aos principais herbicidas registrados para a cultura, incluindo o tembotrione (Karam et al., 2009). No entanto, em campos de produção de sementes que visam a obter sementes de híbridos comerciais pelo cruzamento de duas linhagens puras, tem sido observado aparecimento de sintomas de fitotoxicidade. Esses sintomas são branqueamento das folhas, redução do crescimento e até mesmo interferência no processo reprodutivo, inibindo a liberação da parte masculina (pendão) ou da flor feminina, denominada boneca (Schuelter et al., 2018).

Embora existam muitos estudos com milhos híbridos cultivados para diferentes finalidades, são poucos os estudos específicos para tolerância de linhagens puras de milho ao uso de herbicidas específicos para o controle de plantas daninhas em campos de produção de sementes comerciais. Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar a tolerância de linhagens de milho irrigado ao herbicida tembotrione nas condições edafoclimáticas do Cerrado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância econômica da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Gramineae/Poaceae, é um dos mais antigos cereais, oriundo do Vale de Tehuacan, no México, com aproximadamente oito mil anos. Existem várias teorias sobre a origem e evolução do milho, porém a mais aceita é que foi originado do teosinte (*Zea mexicana*), gramínea muito parecida com o milho (Barros & Calado, 2014).

De acordo com dados da USDA (2020), o Brasil ocupa a segunda posição mundial em exportação de milho, destacando-se as regiões Sul e Centro-Oeste com maior produção (CONAB, 2020). O milho tem grande importância no agronegócio brasileiro, podendo alcançar altos índices de produção, principalmente por ter alto potencial produtivo (Cruz et al., 2010).

Na safra 2020/2020, a produção brasileira de milho, referente à produção da safra e da safrinha, foi de 99,7 milhões de toneladas em 17,8 milhões de hectares em todo território nacional, com uma produtividade média de 5.985 kg ha⁻¹. Os cultivos ocorrem principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, ocupando a 3ª posição, atrás da soja e da cana-de-açúcar (CONAB, 2020).

Segundo dados do IBGE (2020), da safra de 2000/2001 para a de 2017/18, a produção mundial de milho foi de 591 milhões de toneladas a 1,076 bilhão de toneladas (tendo um crescimento de cerca de 82%), se tornando a cultura agrícola de maior patamar, a única a ultrapassar a marca de um bilhão de toneladas.

Mesmo com números relevantes, a produtividade do milho está muito aquém do seu potencial. Nas regiões de Goiás, Paraná e Mato Grosso, a produtividade ultrapassa 12 t ha⁻¹, enquanto a média mundial é de 5 t ha⁻¹. A produção de milho na região Centro-Oeste passou de 100.156.000 toneladas para 105.553.700 toneladas. O estado de Goiás apresentou crescimento de 3,1 a 3,5% na área plantada com milho, chegando a 5.436.700 hectares (IBGE, 2020).

2.2 Morfologia e fases fenológicas

O milho é uma gramínea anual, que tem mecanismo fotossintético C4, além de ser monoica, ou seja, tem dois sexos na mesma planta, mas fecundação cruzada. O grão é denominado cariopse, tendo apenas um embrião em seu interior (Goodman & Smith, 1987; Fornasier Filho, 2007).

Segundo Borém et al. (2015), o ciclo da cultura do milho é dividido em hiperprecoce, semiprecoce e tardio, e seus estágios de desenvolvimento separados em V0 (germinação ou

emergência), V4 (quatro folhas desdobradas), V8 (oito folhas), V12 (plantas com 12 folhas), Vt (aparecimento do pendão), R1 (florescimento e polinização), R2 (grãos leitosos), R3 (grãos pastosos), R4 (grãos farináceos e início da formação de dentes), R5 (grãos duros) e R6 (grãos fisiologicamente maduros). O ciclo da cultura varia entre 100 e 180 dias dependendo dos genótipos (Ritchie et al., 2003).

O sistema radicular da cultura é do tipo fasciculado, com raízes adventícias no colmo. Características climáticas, híbrido utilizado e tipo de solo podem influenciar no incremento do caule da planta, podendo chegar a aproximadamente 2 metros de altura. A planta tem folhas estreitas, com forma lanceolada, nervura central vigorosa e coloração verde clara (Barros & Calado, 2014).

Fatores como espaçamento, ciclo da cultura, época de semeadura, disponibilidade hídrica e condições nutricionais (adubação, tratamentos fitossanitários), juntamente com uma população de planta entre 30.000 e 90.000 plantas ha⁻¹, são características fundamentais para que a cultura do milho obtenha seu máximo potencial de produção (Soares et al., 2017). Segundo Barros & Calado (2014), o melhoramento genético permitiu a introdução de variedades mais bem adaptadas a cada região do Brasil, resultando num aumento significativo da produtividade e num dos melhores indicadores a nível mundial.

2.3 Importância da irrigação na cultura do milho

A irrigação é uma técnica importante para suprir a necessidade hídrica das plantas no momento certo, em quantidades ideais (Camargo, 2016). O cultivo se apresenta com condições ambientais desfavoráveis em épocas de seca, sendo necessária a adoção de práticas que visem a contornar as limitações hídricas nas lavouras (Couto et al., 2017).

Segundo Sales et al. (2017), a irrigação por si só não é fato definitivo para aumento da produtividade do empreendimento rural, sendo necessárias uma boa execução e elaboração do projeto bem como um manejo eficiente do sistema de irrigação, tudo isso somado às boas práticas culturais para garantir ao produtor um incremento na renda da produção.

A viabilidade econômica de um empreendimento agrícola com irrigação é motivada pelos custos de implantação, manutenção e eficiência do sistema, os quais, por sua vez, variam em função das lâminas e do manejo de irrigação ao longo do ciclo da cultura (Sales et al., 2017). Antes de investir em um sistema de irrigação, é necessário saber se é viável para a cultura a ser plantada (Sales et al., 2017).

Segundo Borborema (2018), o milho é uma das principais culturas irrigadas no Estado de Goiás. E o déficit hídrico pode promover perdas acima de 50% na produção, principalmente na fase de florescimento, ocorrendo atraso do aparecimento do estilo-estigma, inviabilizando a eficiência da polinização, o enchimento de grãos e consequente redução do número de espigas e aumento de falhas (Entringer et al., 2014).

Um dos métodos de irrigação mais utilizados pelos pequenos agricultores é do tipo aspersão. Dentro desse método, existem diferentes sistemas, incluindo o convencional, o autopropelido e o pivô central (Stone et al. 2017). Outro ponto de suma importância desse sistema é a alta uniformidade, que é de 75 a 90 % (Mantovani et al., 2009).

2.4 Linhagens x híbrido

No Brasil, vários centros de pesquisa tiveram importância no melhoramento genético do milho, entre eles destacam-se os três centros de pesquisa liderados por André Dreyfus (1897-1952), que se encontrava na Universidade de São Paulo (USP); Carlos Arnaldo Krug (1906), no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC); e Friedrich Gustav Brieger (1900-1985), na Escola de Agricultura Luiz de Queiros (ESALQ). A metodologia utilizada é de autofecundar as melhores variedades existente para obter novas linhagens, passando por um processo de autofecundação (colheita, debulha, amostra de plantio) por seis ou oito gerações consecutivas (Reis et al., 2009).

Para o desenvolvimento de um programa de produção de sementes de milho híbrido, as linhagens endogâmicas são fundamentais por terem comportamentos diferentes dos híbridos em relação aos efeitos causados por fatores fitossanitários bióticos (clima, plantas daninhas, nematoides, fungos, bactérias, insetos) e abióticos (fitotoxidez decorrente do manejo, déficit ou excesso de água, nutrientes) e pelo seu elevado nível de homozigose, o que as tornam mais susceptíveis e sensíveis (Zancanaro, 2016; Paterniani, 1978; Paz Lima et al., 2019).

Pelo cruzamento de duas linhagens puras homozigotas, são obtidos híbridos comerciais de alto valor agrônomo, sucedido através da heterose e, consequentemente, cultivares mais tolerantes, de extrema importância na agricultura, com resistência a fitopatógenos, pragas, plantas daninhas, ou fatores bióticos e abióticos que afetem diretamente a cadeia produtiva (Zambolim et al., 2014).

As linhagens ou linhas puras são genótipos de elevado nível de homozigose, caracterizados pela sua uniformidade genética obtida por autofecundações sucessivas, feitas com base na produtividade ou no comportamento de interesse. A denominação de híbrido é dada a uma semente

ou planta resultante do cruzamento entre parentais diferentes, ou seja, entre duas linhas puras (linhagem A x linhagem B), para obter um descendente com grande vigor e características encontradas isoladamente em dois indivíduos (Barros & Calado, 2014).

Em um programa de híbridos, a etapa mais difícil e demorada corresponde à obtenção e avaliação das linhagens (Miranda Filho & Viégas, 1987), levando em consideração a arquitetura de folha, a qualidade do colmo (acamamento e quebramento), a severidade de doenças, o sistema radicular, o empalhamento, o tamanho de espiga (número de grãos por fileira, comprimento, diâmetro e peso médio dos grãos), o tamanho de pendão e a identificação das linhagens com a melhor capacidade de combinação híbrida (Zancanaro., 2016).

De acordo com Fritsche Neto & Môro (2015), o híbrido simples é indicado para sistemas de produção que utilizam alta tecnologia, por ter maior potencial produtivo, sendo também mais caro por apresentar grande uniformidade de plantas e espigas. Quanto ao híbrido triplo, ele é obtido pelo cruzamento de três linhagens, ou seja, entre uma linha pura e um híbrido simples, enquanto o híbrido duplo resulta do cruzamento entre dois híbridos simples, ou seja, através do cruzamento de quatro linhagens.

2.5 Linhagens

O planejamento da produção de sementes híbridas é um dos pontos mais críticos da cultura do milho, pois depende da conexão entre análise da demanda e vendas para determinar o volume a ser produzido. Na obtenção de sementes de milho híbrido, o cruzamento entre linhagens é bastante sensível às variações ambientais e aos sistemas de manejo da cultura, fatores que podem influenciar na produção e elevar os custos por aumentar o número de aplicações de produtos químicos (Saito & Andrade, 2017).

Para a produção de híbridos, é necessário o desenvolvimento de linhagens para proceder aos cruzamentos. A linhagem receptora de pólen e que terá a espiga colhida é considerada fêmea, enquanto as linhagens que fornecem pólen são chamadas de macho ou polinizador. Entretanto, os parentais têm ciclos diferentes, e para assegurar a coincidência dos ciclos das linhagens no florescimento, as linhagens podem ser semeadas em épocas diferentes. Após a polinização, as linhas de polinizadores são destruídas para prevenir mistura de espigas entre os parentais na colheita (Balbinot Júnior et al., 2005). O desenvolvimento de híbridos a partir de linhagens de milho depende principalmente da identificação das melhores combinações e dos cruzamentos dialélicos, que podem facilitar essa identificação nos programas de melhoramento (Saito & Andrade, 2017).

Os seis genótipos em estudo são codificados como Z9999L, ZKQMR3257L, 551CB, PGAG10051L, G55081L, N34G34381L, que são linhagens puras de milho com elevado nível de homozigose, caracterizando uniformidade genética. Posteriormente, serão identificadas as melhores combinações entre elas para o desenvolvimento de novos híbridos nos programas de melhoramento genético da companhia.

Todos os genótipos têm registro nacional de cultivares no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, descrevendo características como forma da ponta da primeira folha, ângulo entre a lâmina foliar e o caule, medido logo acima da espiga superior, comprimento da haste principal do pendão, medido entre o ponto de origem e o ápice da haste central, ângulo entre a haste principal do pendão e a ramificação lateral, no terço inferior do pendão, coloração do estigma pela antocianina, tipo de grão, medido no terço médio da espiga (RNC, 2021).

2.6 Importância dos inibidores da biossíntese de carotenoides na cultura do milho

A utilização de agrotóxicos passou a ganhar força a partir da Revolução Verde, deflagrada na década de 1970. Entre as inúmeras mudanças seguidas a este fenômeno, destaca-se o uso massivo de herbicidas em todo o mundo (Marchi et al., 2008).

A partir da década de 1970, houve uma verdadeira explosão no número de herbicidas assim como também em relação aos tipos de herbicidas (Lein et al., 2004). A partir deste momento, ficaria evidente que a utilização de herbicidas é de extrema importância para a produção em larga escala, especialmente de alimentos (Stephenson et al., 2006).

Diante da enorme variedade de herbicidas disponibilizados, vários critérios podem ser utilizados para identificá-los e classificá-los. Entre estes critérios, um deles se refere ao mecanismo de ação. O mecanismo de ação é o primeiro passo bioquímico ou biofísico no interior celular a ser inibido pela atividade do herbicida. Em termos genéricos, os herbicidas podem ser definidos como compostos químicos aplicados em pequenas quantidades, que têm a capacidade de matar ou inibir o crescimento de determinadas plantas. Vistos sob esta perspectiva, os herbicidas têm a importante capacidade de selecionar determinadas espécies de plantas, provocando sua morte (Mesquita, 2019).

O mecanismo de ação de um herbicida distingue-se do seu modo de ação. Conforme Marchi et al, (2008), muito embora reconheçam que este processo inicial possa ser suficiente para matar as espécies sensíveis, em geral são necessárias diversas outras reações químicas ou processos a fim de matar determinada planta, cujo somatório de todos os processos químicos é denominado de modo

de ação. Ou ainda, trata-se do efeito final expresso na planta após a aplicação de um herbicida (Marchi et al., 2008).

De acordo com os vários mecanismos de ação existentes, os inibidores da biossíntese de carotenoides são facilmente identificados pela injúria comum causada através da despigmentação das folhas, ocasionadas pela fotodegradação da clorofila, que ocorre após o bloqueio da síntese de pigmentos carotenoides (Oliveira Júnior & Inoue 2011).

De acordo com Dall'osto et al. (2007), os carotenoides absorvem o excesso de luz, protegendo a clorofila da foto-oxidação, impedindo parte do transporte de elétrons da fotossíntese, em nível de fotossistema II. Quando os carotenoides estão ausentes e as plantas são expostas à luz, o excesso de energia causa o aparecimento de espécies reativas de oxigênio e clorofilas no estado triplet, provocando danos às plantas pela peroxidação de lipídios das membranas celulares, podendo causar até mesmo a morte das plantas (Darwish et al., 2015).

Os herbicidas inibidores da biossíntese de carotenoides são divididos em três subgrupos, F1, F2 e F3, que diferem entre si em função do sítio de atuação no bloqueio dos pigmentos carotenoides. Para o subgrupo F1, não existe nenhum registro de uso no Brasil. Os herbicidas Isoxaflutole, mesotrione e tembotrione fazem parte do subgrupo F2, no subgrupo F3, tem-se o registro do herbicida clomazone (Oliveira Júnior, 2011).

Isoxazoles, pirazoles e tricetonas (F2) são exemplos que inibem a enzima HPPD, responsável pela conversão do p-hidroxiacetilpiruvato a homogênisato. Esta reação-chave na síntese de plastoquinona e sua inibição do início ao branqueamento nas folhas que emergem após a aplicação resultam na inibição indireta da síntese de carotenoide em razão do envolvimento da plastoquinona como cofator da fitoeno desaturase (Semseman, 2007).

O sítio de atuação específico das isoxazolidinonas (F3) é o ponto exato de atuação na forma da enzima 1-desoxi-xilulose-5-fosfatase sintase (DOXP). Essa uma enzima-chave via fosfato metil-eritrol (MEP) é um composto-chave para a síntese de isoprenoides dos plastídios. De acordo com Ferhatoglu & Barret (2006), a inibição do acúmulo de clorofila e de carotenoides na presença de luz resulta numa aparência albina, que continua sem a produção de tecidos fotossintéticos verdes, não podendo ser mantidos, começando a necrosar.

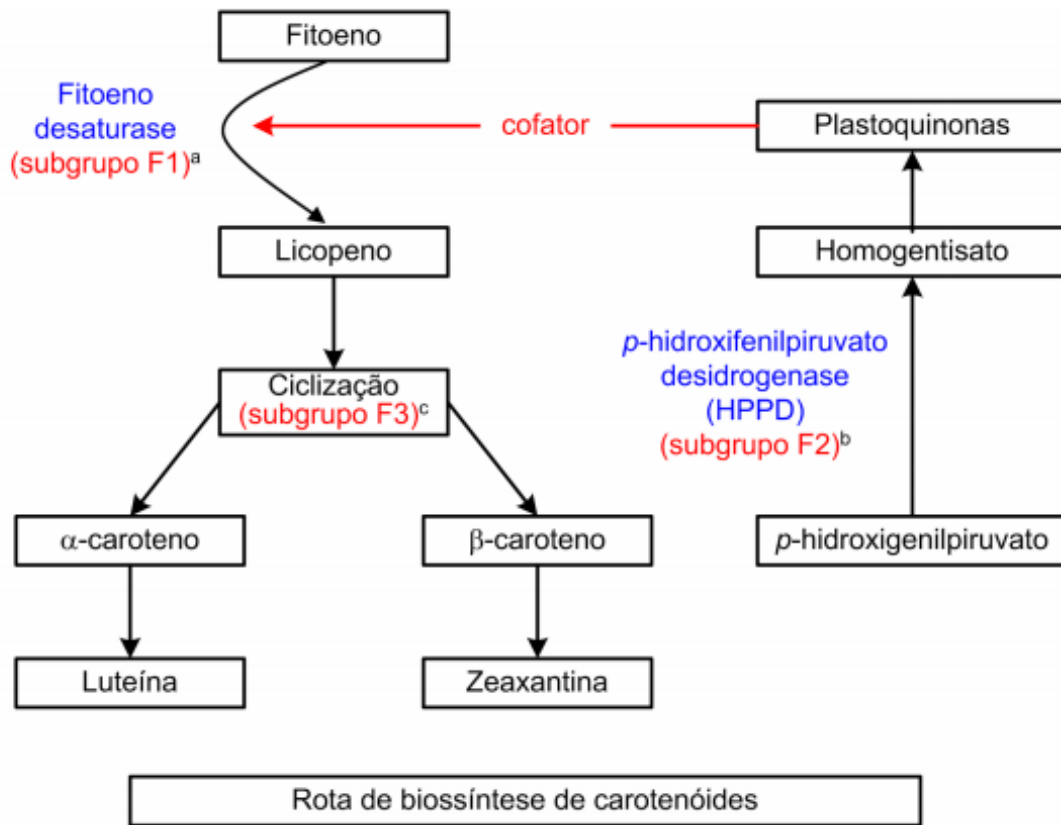


Figura 1. Sítios de atuação dos herbicidas inibidores da síntese de carotenoides dos subgrupos F1, F2 e F3. Fonte: Retzinger Jr. & Mallory-Smith (1997)

O uso de herbicidas é um método de controle importante e muito utilizado no manejo de plantas daninhas que tem se destacado principalmente pela eficiência, custo-benefício e rendimento operacional (Dan et al., 2010). São utilizados em pré-emergência e pós-emergência. Normalmente, os pré-emergentes são aplicados no solo antes da germinação das sementes ou usados como dessecantes de residual curtos. Os pós-emergentes são mais seletivos à cultura, sendo aplicados após a emergência das culturas e das plantas daninhas, com forma de absorção do produto pela raiz ou folhas (Somerville et al., 2017).

A competição das plantas daninhas com a cultura é um dos grandes problemas, o que pode reduzir a produtividade mundial de grãos, além de serem hospedeiras de doenças (Galon et al., 2021). Segundo Karam et al. (2009), a tolerância das plantas aos herbicidas está associada à capacidade de penetração do produto em doses fitotóxicas ou à capacidade das plantas, após a absorção do herbicida, de metabolizar rapidamente o produto, formando compostos não tóxicos.

Em geral, tem-se observado que a utilização de herbicidas inibidores de carotenoides foi ampliada nas últimas décadas na cultura do milho. Entre os herbicidas utilizados na cultura do milho em pós-emergência, tem se destacado o ingrediente ativo nicosulfuron, pertencente ao grupo

químico das sulfonilureias, que promove a inibição da enzima ALS - acetolactato sintase (Trezzi & Vidal, 2001). Porém alguns híbridos têm apresentado fitotoxicidade a este herbicida por não respeitar o intervalo entre a aplicação do herbicida e a aplicação do inseticida organofosforado, ou da adubação nitrogenada de cobertura e estágio fenológico (Christoffoleti & López-Ovejero, 2003).

Segundo Bond et al. (2014), Wang et al. (2014) e Ndikuryayo et al. (2017), como alternativa no mercado para o controle de biotipos de plantas resistentes a outros mecanismos de ação, tem crescido o uso do ingrediente ativo tembotrione. Esse produto inibe a enzima HPPD - 4hidroxifenilpiruvato desoxigenase e indiretamente a enzima FDS, não exigindo manejo especial em relação à adubação de cobertura para a cultura do milho (Schuelter et al., 2018). Assim, torna-se uma possível ferramenta disponível para o manejo de plantas daninhas infestantes da cultura do milho, trigo e aveia (Schmitz et al., 2015).

Na literatura internacional, o tembotrione e os demais herbicidas que inibem a HPPD têm ganho destaque pelos seus benefícios, entre eles, estão: o amplo espectro de controle de plantas daninhas incluindo biotipos resistentes a outros mecanismos de ação; a excelente seletividade às culturas; a baixa taxa de aplicação; a baixa toxicidade para o ambiente; e a utilização em pré e pós-emergência (Van Almsick et al., 2009; Wang et al., 2014; Ndikuryayo et al., 2017). Entretanto, tem se observado que a aplicação de tembotrione em campos de produção de sementes e de populações segregantes, obtidas a partir de alguns cruzamentos de (linhagens) genótipos de milho, tem mostrado sintomas de fitotoxicidade, revelando o aparecimento de intensa coloração esbranquiçada nas folhas após alguns dias da aplicação (Schuelter et al., 2018).

De acordo com Senseman (2007), plantas suscetíveis, quando tratadas com tembotrione, produzem folhas albinas, ou seja, perdem a cor verde. O crescimento das plantas tratadas com os herbicidas inibidores de pigmentos continua por alguns dias, mas, em razão da falta de clorofila, as plantas não conseguem se manter. Assim, o crescimento cessa e começam a surgir manchas necróticas. Segundo estudo realizado por Karam et al. (2009) com o objetivo de analisar a seletividade ou a tolerância de cinco híbridos de milho (BRS 1030, DKB 393A, DOW 2A525, P30F53 e SPEED) ao herbicida tembotrione com aplicações nos estádios V3 a V4, observou-se que nesses estádios fenológicos de aplicação houve maiores índices de fitointoxicação nas plantas aos 7 DAE, porém os efeitos fitotóxicos foram reduzidos com o passar do tempo, não resultando em perda de produtividade na colheita.

Assim, é importante conhecer a tolerância dos genótipos antes da aplicação de um herbicida para o manejo das plantas daninhas, sobretudo em campos de produção de semente, mas seu uso

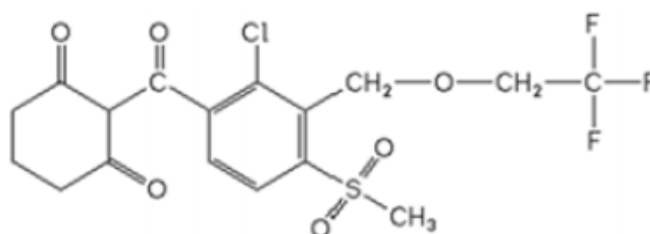
requer conhecimento prévio quanto à tolerância genética dos genótipos cultivados. Na produção de sementes híbridas de milho, são utilizadas linhagens com alto nível de homozigose (nível de pureza), o que as torna mais sensíveis ao uso do produto.

Dessa forma, é importante identificar a tolerância de linhagens ao tembotrione para o posicionamento correto da dose desse princípio ativo.

2.7 Tembotrione

O tembotrione pertence ao grupo químico das tricetonas, descoberto pelo cientista Reed Gray em Western Research Center (Califórnia) no ano de 1977. Reed Gray observou que próximo às plantas de escova-de-garrafa (*Callistemon citrinus*), o crescimento e o desenvolvimento das plantas daninhas em relação às outras eram pequenos. Com base nessa observação, ele isolou o composto desta planta (leptospermone), que mostrou potencial como herbicida. Essa descoberta despertou o interesse de vários pesquisadores, que desenvolveram uma molécula análoga sintética patenteada em 1980 (Beaudegnies et al., 2009). A partir desses eventos, os pesquisadores passaram a se interessar e estudar esse grupo químico. De acordo com esses relatórios, em 1997 a Bayer CropScience descobriu a molécula de tembotrione em seu laboratório (Van Almsick et al., 2009), oficialmente lançada pela Bayer CropScience no Brasil em 2007.

O herbicida tembotrione (2-[2-chloro-4-(methylsulfonyl)-3-[(2,2,2-trifluoroethoxy)methyl]-benzoyl]-1,3-cyclohexanedione) é um pós-emergente, seletivo e sistêmico. Tem apresentado desempenho satisfatório no controle de plantas daninhas na cultura do milho, incluindo milho de campo, milho em grão, pipoca e milho doce (Anonymous, 2007). Sua estrutura química pode ser observada na Figura 2.



No Brasil, é comercializado com o nome comercial de Soberam®, que tem registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA), sob nº 05108. É utilizado para o controle de plantas daninhas de folhas largas e gramíneas em milho e em outras culturas (Van Almsick, 2009; Pinke et al, 2014).

Esse herbicida é capaz de inibir a atividade do 4-hidroxi-Enzima fenilpiruvato dioxigenase (4-HPPD) em várias espécies de plantas daninhas, sendo um catalisador de enzimas do aminoácido tirosina, que é comum e essencial em todas as formas de vida aeróbicas. Uma vez que inibe a atividade da 4-HPPD, interrompe a biossíntese de pigmentos carotenoides em plantas suscetíveis, causando sintomas típicos de branqueamento nas folhas emergentes de espécies suscetíveis, devido à redução de carotenoides, que priva a clorofila de proteção contra a luz, resultando na sua oxidação (Schulte & Köcher 2009).

A inibição de enzima HPPD desencadeia uma serie de reações que interrompem a produção de plastoquinona e α -tocoferol nas plantas, levando-as à morte do tecido vegetal, através do estresse oxidativo (Chahal & Jhala, 2018). O tocoferol está intimamente relacionado, atuando, durante a fotossíntese particularmente no controle dos níveis de O_2 no PSII como parte da maquinaria de fotoproteção e em funções atribuídas para reações antioxidantes necessárias à manutenção dos centros de reação da extensão da peroxidação lipídica nos tilacoides, especialmente durante condições de estresse em plantas (Miret et al, 2015).

O controle de plantas daninhas é feito com doses entre 75-100 g i.a. ha⁻¹, atingindo excelentes resultados, relatados em vários eventos científicos e publicações (Williams & Pataky, 2008; Gatzweiler et al., 2012). Assim, tem ganho privilégio na literatura internacional pelos seus benefícios, que incluem um amplo espectro de controle de plantas daninhas e biotipos resistentes a outros mecanismos de ação como a corda-de-viola (complexo de algumas espécies do gênero *Ipomoea*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*), capim-colchão (*Digitaria horizontalis*), guanxuma (*Sida rhombifolia*), poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), picão-preto (*Bidens pilosa*) e trapoeraba (*Commelina benghalensis*), tendo ainda excelente seletividade às culturas e baixa toxicidade para o ambiente (Wang et al., 2014; Ndikuryayo et al., 2017).

A cultura do milho apresenta diferentes respostas à aplicação de herbicidas pós-emergentes do grupo das tricetonas (mesotrione, tembotrione) (Cavalieri et al., 2008; Agrofit, 2020). Os principais complexos enzimáticos envolvidos neste processo são o citocromo P450 monooxigenase (Barrett, 2000).

Herbicidas com o ingrediente ativo tembotrione aplicados em lavouras de milho têm sido seletivos, ou seja, a cultura tem se mostrado altamente tolerante ao herbicida (Karam et al., 2009). De acordo com Siminszky (2006), a capacidade da cultura do milho de evitar lesões após a aplicação de sulfonilureias como nicosulfuron, chlorsulfuron e rimsulfuron, além de herbicidas com diferentes modos de ação, como bentazon e clomazone, está ligada principalmente à capacidade de desintoxicação rápida desses herbicidas pela atividade do citocromo P450 (CYP P450).

Para o tembotrione, a tolerância do milho depende principalmente de uma hidroxilação mediada pelo citocromo P450 na posição 4 no anel de ciclo-hexandiona (Mitchell et al., 2001). Os CYPs são considerados uma das maiores famílias enzimáticas envolvidas no metabolismo xenobiótico em microrganismos, insetos, plantas e humanos, sendo responsáveis pela resistência, respectivamente, a antibióticos, inseticidas, herbicidas (Pandian et al., 2020). É uma das principais enzimas envolvidas em conferir seletividade em plantas de cultivo por meio do metabolismo de herbicidas (Busi et al., 2017).

2.8 Efeito do tembotrione sobre o desenvolvimento e produção de milho

As avaliações do comportamento fisiológico (condutância estomática, transpiração, fotossíntese e eficiência fotoquímica do PSII), além de nos permitir perceber a influência do herbicida sobre aspectos fundamentais necessários ao desenvolvimento vegetal, permitem-nos entender sua influência sobre o rendimento produtivo (Nascimento et al., 2011).

O crescimento e a produtividade das plantas são promovidos pela fotossíntese, e a produtividade depende da fotossíntese e, conseqüentemente, da área foliar (Bacelar et al., 2012). A taxa fotossintética está diretamente relacionada à radiação fotossinteticamente ativa (composição da luz), aos fatores de disponibilidade hídrica e às trocas gasosas (Naves-Barbiero et al., 2000).

A fluorescência da clorofila *a* possibilita analisar os efeitos qualitativa e quantitativamente da absorção e do aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II (PSII) e sua relação com a capacidade fotossintética (Azevedo Neto et al., 2011). O rendimento quântico do fotossistema II é definido pela relação F_v/F_m . O F_v denota a fluorescência variável e o F_m , a fluorescência máxima, $F_v = (F_m - F_0)/F_m$, sendo, F_0 a fluorescência inicial da folha adaptada ao escuro. A relação F_v/F_m reflete a proporção de energia luminosa absorvida pelas clorofilas (no fotossistema II), que é utilizada no transporte de elétrons (Bjorkman & Demmig, 1987; Marengo et al., 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado no período da seca, de maio a setembro de 2019, no município de Goianésia-Goiás, na Estação Experimental da empresa Limagrain Brasil de Pesquisa Agrícola. A empresa está localizada na rodovia GO 080, km 60, Zona Rural, com coordenadas geográficas 15°18'00.87''S e 49°05'04.88''W e altitude de 649 metros. O clima do local, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Aw, clima de savana ou clima tropical de estações úmida e seca, de inverno seco e verão chuvoso, com média pluvial anual de 1.502 mm.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas com dois fatores. O primeiro fator correspondeu às seis linhagens de milho (Z9999L, ZKQMR3257L, 551CB, PGAG10051L, G55081L, N34G34381L) e o segundo fator às doses de tembotrione (0; 120; 240; e 480 mL ha⁻¹), com quatro repetições. O tembotrione é o herbicida 2-[2-chloro-4-(methylsulfonyl)-3-[(2,2,2-trifluoroethoxy)methyl]-benzoyl]-1,3-cyclohexanedione).

As doses escolhidas representam, respectivamente, zero; 120 mL ha⁻¹ corresponde à metade da dose recomendada; 240 mL ha⁻¹ é a dose recomendada; e 480 mL ha⁻¹ corresponde ao dobro da dose recomendada na bula do produto comercial. Foi aplicado em uma única época, no estágio de desenvolvimento V3, quando as plantas apresentavam três folhas completamente expandidas.

Os blocos experimentais foram constituídos de quatro linhas, com espaçamento de 0,70 m entre linhas e 12 m de comprimento, mais 1,0 m de corredor, totalizando 33,6 m². Foram subdivididos em quatro parcelas com quatro linhas, com espaçamento de 0,70 m entre linhas e 2 m de comprimento por 1,0 m de corredor, totalizando 5,6 m² cada parcela. Para as avaliações, foram consideradas as duas linhas centrais, sendo desprezadas as linhas da extremidade.

Os genótipos (linhagens) de milho utilizados foram disponibilizados pela empresa Limagrain. A aplicação das doses de tembotrione foi feita de forma transversal à linha de plantio, utilizando um pulverizador costal pressurizado com tanque de CO₂ (Herbicat®, Brasil). O pulverizador contém barra com quatro bicos tipo leque com antigotejo, espaçados de 0,5 m, pontas modelo 110-02 (Magno Jet®), com faixa aplicada de 2 metros. O equipamento foi calibrado para o volume de calda de 120 L ha⁻¹, com pressão de 1,5 Kgf, de acordo com o manômetro da barra. A velocidade foi de 4,5 km h⁻¹, e o tempo para percorrer a subparcela foi de aproximadamente três segundos. As aplicações foram feitas no estágio fenológico V3, após as 17 h, em velocidade

constante, em condições ambientais favoráveis de velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar (Tabela 1). Os tratamentos foram feitos simulando uma recomendação de aplicação para o controle de plantas daninhas em campos de produção de semente.

A Figura 3 apresenta os dados de temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar das áreas experimentais, de maio a setembro de 2019.

Tabela 1. Dados climatológicos no dia da aplicação do herbicida no experimento, Goianésia, GO, 2019

Experimento	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Velocidade do vento m/s	UR (%)
Reação das linhagens	26,50	22,40	24,45	2,52	73,70

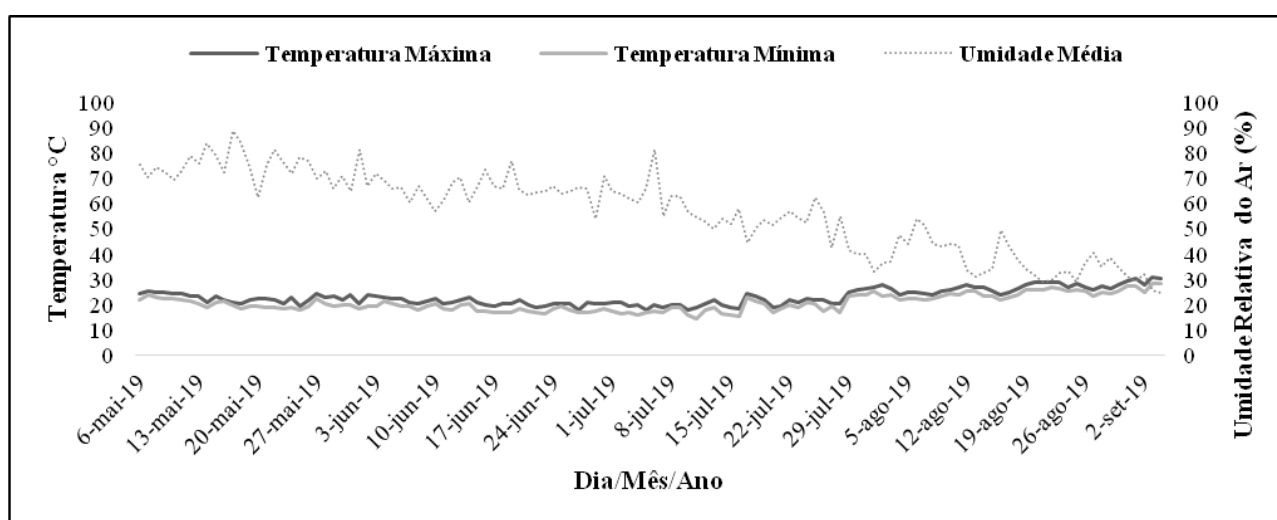


Figura 3. Temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar da estação meteorológica localizada no município de Goianésia, GO. Fonte: INMET (2019).

3. 3 Implantação do experimento

Antes do preparo do solo, foi feita a coleta de amostra para análise química e física do solo da área experimental, na camada de 0-20 cm (Tabela 2). De acordo com Embrapa (2013), o solo é classificado como Latossolo vermelho franco-argiloso (Textura Argilosa).

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo (0-20 cm) da área experimental, Goianésia, GO, (2019)

CaCl ₂	g dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----					---mg dm ⁻³ ---	%	mg dm ⁻³
pH	MO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	CTC	P	V
5,3	21,51	3,23	1,73	0,00	2,75	90,0	6,22	19,4	65
Textura (g kg ⁻¹)									

Areia	Silte	Argila
221	209	570

O solo da área experimental foi preparado no sistema convencional, com auxílio de subsolador, arado e grade niveladora, para reduzir a compactação e incorporação de corretivos e fertilizantes, conforme as análises físicas e químicas do solo. Historicamente, a área experimental é utilizada em sistema de cultivo convencional, predominando as culturas de soja no verão e de milho no inverno.

O experimento foi implantado de acordo com as recomendações para campos de produção de sementes, com controle químico preventivo uma vez por semana ou, quando necessário, duas até três aplicações por semana com base no monitoramento diário. Todos os agrotóxicos utilizados no experimento tinham registros para a cultura do milho.

No tratamento de sementes, foram utilizados o inseticida Cropstar[®] (Imidacloprido+Tiodicarbe) na dosagem de 1,5 L⁻¹/ 100 kg sementes e o fungicida Derosal Plus[®] (carbendazim+tiram) na dosagem de 0,5 L⁻¹/ 100 kg sementes para o manejo da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), lagarta elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*) podridão do colmo (*Fusarium moniliforme*), podridão-dos-grãos armazenados (*Aspergillus flavus*), helmintosporiose (*Helminthosporium maydis*) e olho-azul (*Penicillium oxalicum*).

A área foi riscada com uma semeadora pneumática pantográfica com espaçamento entre linhas de 0,70 m com quatro linhas de semeadura. Foram aplicados nos sulcos 400 kg ha⁻¹ do adubo N-P-K - 08-28-16. A semeadura do milho foi feita no dia 06 de maio de 2019, de forma manual, com matracas experimentais com marcador regulável, semeando duas sementes por cova com espaçamento de 16,8 cm, obtendo 5,95 plantas por metro linear e população final de 85 mil plantas por ha⁻¹. O desbaste foi feito 10 dias após a semeadura (DAS).

Posteriormente, foram efetuadas duas adubações de cobertura: uma aos 28 dias após a semeadura, com 300 kg ha⁻¹ do adubo 20-00-20, e após 40 dias da semeadura, a dose foi de 200 kg ha⁻¹ de ureia. Ambas as adubações foram feitas manualmente, distribuindo o adubo formando uma linha contínua próxima das plantas, acompanhando a linha de semeadura.

O manejo em pós-emergência de plantas daninhas não foi necessário por causa da aplicação de tembotrione feita no estágio fenológico V3. Para o controle de pragas e doenças no experimento, foi necessária a utilização dos inseticidas e fungicidas: Connect[®] (imidacloprido + beta-ciflutrina) na dosagem de 1 L⁻¹ para manejo de percevejo barriga verde (*Dichelops melacanthus*) e lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*); Brilhante[®] (metomil) na dosagem de 0,6 L⁻¹ para manejo de

lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*); Sombrero® (imidacloprido) na dosagem de $0,1 \text{ kg}^{-1}$ + Platinum Neo (Lambda-Cialotrina + Thiamethoxam) na dosagem de $0,3 \text{ L}^{-1}$ para o manejo da Cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) e Larva-alfinete (*Diabrotica speciosa*); Exalt (Espineteram) na dosagem de $0,1 \text{ L}^{-1}$ para o manejo da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*); Unizb Glory (mancozeb) na dosagem de $1,5 \text{ Kg}^{-1}$ para manejo de mancha-de-phaeosphaeria (*Phaeosphaeria*); e Approach Prima (Ciproconazol+Picoxistrobina) na dosagem de $0,3 \text{ Kg}^{-1}$ para manejo da cercosporiose (*Cercospora zea-maidis*) e da ferrugem (*Puccinia sorghi*).

3.4 Manejo da irrigação

No ambiente de cultivo, foi instalado um termo-higrômetro para monitoramento de temperatura e umidade, mínima e máxima, com leituras às 12 h, e um pluviômetro para quantificar a precipitação.

Em um tanque de evaporação, foram feitas leituras diariamente às 12 h com o auxílio de uma régua graduada fixa na borda do tanque. As irrigações foram feitas com turno de rega fixo de três dias, de acordo com reposição hídrica da evaporação do tanque Classe A (Figura 4).



Figura 4. Tanque Classe A e abrigo para termo-higrômetro instalado no local do experimento

A radiação fotossinteticamente ativa foi mensurada no dia da análise de trocas gasosas, tendo sido observada uma radiação de $1.491 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mensurada com *line quantum sensor* (LI-191, LI-COR Biosciences), às 12 h, na altura do ápice das plantas.

O método de irrigação utilizado foi por sistema de aspersão convencional. Os aspersores utilizados foram da marca netafim® meganet 24D, vazão de 750 L h^{-1} . Após a semeadura, foi aplicada uma lâmina de água de 12 mm para umedecer o solo para iniciar o processo de germinação (Pereira Filho, 2002). Após 10 dias da semeadura, foram instalados os copos coletores a, aproximadamente, 60 cm do solo, suspensos por hastes de alumínio, espaçados entre si a cada 6

metros. A coleta de água foi feita três vezes a cada hora no período da tarde. Em seguida, foi determinada a eficiência de aplicação de água por meio do coeficiente de uniformidade, usando a fórmula modificada de Heermann e Hein, que mostrou uniformidade de distribuição de água de aproximadamente 75%.

O início da aplicação de água foi aos 18 DAE. A diferenciação da reposição hídrica em relação à evapotranspiração da cultura foi estimada pela Equação 1. A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método do tanque classe A, com base nas leituras obtidas diariamente às 12h.

Equação 1:

$$ET_c = ECA \times K_p \times K_c$$

Em que:

ET_c – Evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

ECA – Evaporação medida no Tanque (mm dia^{-1});

K_p – Coeficiente de Tanque Classe A, igual a 0,75; e

K_c – Coeficiente de cultivo.

A lâmina bruta (LB) aplicada na cultura foi calculada pela equação 2, considerando a eficiência do sistema de aspersor convencional de 75%, obtido por teste de campo utilizando a metodologia de Christiansen (1942) (Equação 3), feito no sistema dois dias antes de iniciar os tratamentos de lâminas de reposição.

Equação 2:

$$LB \text{ (mm)} = (ET_o \times K_c) / \text{eficiência}$$

Equação 3:

$$CUD = q_n / q_a \times 100;$$

CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição;

q_n – vazão média das 25% menores descargas dos emissores L h^{-1} ; e

q_a – vazão média L h^{-1} .

O coeficiente de cultura (K_c) para os cálculos de lâmina de água considerou que a cultura seria colhida no estágio de milho grão, que corresponde até a fase IV, valores utilizados de acordo com Albuquerque (2010) (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de Kc para cultura do milho

Fases	I	II	III	IV
Duração das Fases em Dias	23	29	37	11
Kc	0,30-0,50	0,80-0,85	1,05-1,20	0,80-0,95

3.5 Variáveis analisadas para cada delineamento:

As variáveis analisadas foram fitotoxicidade das folhas, análises fisiológicas (taxa de fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática, fluorescência da clorofila), contagem de grãos por espiga, produtividade e produto acabado.

As análises de fitotoxicidade dos tratamentos foram feitas aos 7, 14 e 21 dias após aplicação (DAA) com base nos sintomas visuais de fitotoxicidade, cujas percentagens variam de 0 (sem sintomas) a 100% (morte da planta), de acordo com a escala adaptada de Frans et al. (1986), conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Escala percentual de fitotoxicidade

Nota (%)	Descrição das Categorias	Descrição detalhada da fitotoxicidade	Status para uso
0	Sem efeito	Nenhuma injúria observada	Liberado
10	Efeito leve	Injúria leve, pouquíssima descoloração ou atrofia quase imperceptíveis	Liberado
20	Efeito leve	Injúria leve, alguma descoloração ou atrofia	Liberado
30	Efeito moderado	Injúria moderada e não duradoura	Liberado com restrição
40	Efeito moderado	Injúria moderada, porém com recuperação até 21 dias	Liberado com restrição
50	Efeito acentuado	Injúria acentuada, baixa probabilidade de recuperação após 21 dias	Decisão Gerencial
60	Efeito acentuado	Injúria acentuada com redução de stand	Cancelado
70	Efeito acentuado	Injúria acentuada, sem recuperação até 21 dias	Cancelado
80	Efeito Severo	Injúria severa, plantas próximas da destruição - poucas plantas sobrevivem	Cancelado
90	Efeito Severo	Injúria severa, raramente restam algumas plantas	Cancelado
100	Efeito Severo	Efeito total, destruição completa da parcela	Cancelado

Fonte: Frans et al. (1986).

As avaliações fisiológicas ocorreram no período da manhã (entre 8 h e 10 h) e foram feitas na folha do 2º ou 3º nó da base para o ápice, utilizando um analisador de gases infravermelho, modelo LI-COR 6400XTR (Licor®, Nebraska, EUA), com temperatura do bloco de 24 °C e densidade de fluxo de fótons igual a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As variáveis analisadas foram as taxas de fotossíntese líquida ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo as leituras feitas após a estabilização dos dados. A eficiência quântica

potencial do PSII foi avaliada no período da manhã, entre 10h e 11h, avaliada na mesma folha em que foram avaliadas as trocas gasosas.

A fluorescência foi feita utilizando um fluorômetro modelo Hansatech PEA MK2, Kings Lynn, England. A região das folhas ao ser analisada foi submetida a 20 minutos de escuro antes da análise, por meio de grampos adaptáveis à câmara do fluorômetro. Foi utilizado pulso de luz saturante de $2500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com duração de 5 segundos. Foi observada a eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II (F_v/F_m). Foram analisadas três folhas, sendo uma folha de cada planta em cada parcela.

Para os dados de produção de grãos, foram colhidas 10 espigas da quarta linha da primeira repetição de cada parcela. As espigas foram levadas ao laboratório de análise de sementes da empresa Limagrain® para medir o grau de umidade dos grãos no equipamento CA50. O Grau de umidade foi de 32%.

A colheita foi feita manualmente 135 dias após a emergência (DAE). Após a maturação fisiológica no estádio fenológico R6 com um teor de água de 30 a 32% de umidade, foram colhidas 20 espigas sequenciais das duas linhas centrais de cada parcela, em seguida, colocadas em sacos de cebola com identificação. As espigas foram secas em câmaras de secagem de milho em espiga na unidade de beneficiamento de sementes da empresa Limagrain® até atingirem o grau de umidade de 12% da base úmida.

Em seguida, foram feitas a contagem de grãos por espiga (GE) de cada parcela e a estimativa de produtividade (kg ha^{-1}) (PROD) e do produto acabado (PA), que é o resultado do processo de industrialização, ou seja, semente certificada destinada à semeadura. Um produto acabado corresponde a um saco de semente de milho híbrido com 60.000 sementes.

3.6 Análise estatística

A significância dos efeitos dos tratamentos foi determinada pelo Teste F, submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, com posterior ajuste de regressão para dados quantitativos (dias após a aplicação e doses de tembotrione), utilizando o programa estatístico SISVAR. Para a escolha do modelo de regressão, foi adotado o critério de significância ($p < 0,05$). As interações entre os fatores doses de tembotrione e dias após a aplicação foram exploradas por meio de superfície de resposta.

4. RESULTADOS

A Tabela 5 mostra o tratamento estatístico de doses de tembotrione e dias após a aplicação do herbicida sobre as variáveis fotossíntese líquida (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e F_v/F_m e notas visuais. Verificou-se que as trocas gasosas (A), (g_s), (E) foram influenciadas em função do dia avaliado (7, 14 e 21 dias após a aplicação do herbicida) nas linhagens Z9999L, 551CB, PGAG10051L, G55081L, de forma independente da interação com as dosagens do tembotrione. Para a linhagem Z9999L, o único fator independente de interação observado foi a fotossíntese. As doses do tembotrione sobre as trocas gasosas influenciaram, de forma independente dos dias avaliados, as linhagens PGAG10051L, G55081L e 43NG34381L. A razão F_v/F_m foi influenciada em função dos dias avaliados e de forma independente da dosagem do tembotrione nas linhagens 551CB e 43NG34381L.

Tabela 5. Níveis de significância, de acordo com o Teste F, do tratamento estatístico de doses de tembotrione e dias após a aplicação em variáveis fisiológicas em plantas de milho pertencentes a distintas linhagens. fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), *gs*: condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), *E*: transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Linhagens	Variável Fisiológica	Dias após a aplicação (D)	Tembotrione (T)	D*T	CV(%)
Z9999L	A	6,78*	0,96	1,76	33,35
	<i>gs</i>	4,07*	0,06	2,42*	40,11
	<i>E</i>	8,02*	0,89	2,4*	25,95
	Fv/Fm	1,9	0,58	0,68	7,04
	Nota Visual	10 ^{9*}	10 ^{9*}	10 ^{9*}	0,00
ZKQMR2557L	A	28,31*	78,40*	7,65*	32,09
	<i>gs</i>	23,14*	23,56*	4,08*	36,52
	<i>E</i>	19,93*	38,8*	8,7*	24,75
	Fv/Fm	2	38,82*	4,4*	10,58
	Nota Visual	10 ^{9*}	10 ^{9*}	10 ^{9*}	0,00
551CB	A	7,43*	0,39	0,52	29,6
	<i>gs</i>	33,09*	0,7	0,47	37,5
	<i>E</i>	1,42	1,68	0,54	26,18
	Fv/Fm	3,07*	1,01	1,64	8,3
	Nota Visual	10 ^{9*}	10 ^{9*}	10 ^{9*}	0,00
PGAG10051L	A	6,98*	25,29*	1,04	33,91
	<i>gs</i>	13,99*	3,86*	2,06	44,84
	<i>E</i>	2,23	7,47*	1,2	30,34
	Fv/Fm	14,01*	19,76*	7,99*	8,41
	Nota Visual	361,0*	2171,67*	51,67*	7,78
G55081L	A	7,24*	3,15*	1,4	29,69
	<i>gs</i>	6,86*	2,97*	1,5	43,64
	<i>E</i>	0,22	2,64	1,4	26,95
	Fv/Fm	2,23	1,88	2,18*	3,84
	Nota Visual	9,0*	9,0*	9,0*	230,94
43NG34381L	A	1,87	5,14*	2,01	29,37
	<i>gs</i>	19,19*	3,10*	0,89	36,6
	<i>E</i>	2,82	2,82*	1,07	25,95
	Fv/Fm	5,62*	1,02	1,48	5,06
	Nota Visual	10 ^{9*}	10 ^{9*}	10 ^{9*}	0,00

* ($p < 0,05$)

A Tabela 6 mostra o efeito do período pós-aplicação de tembotrione sobre as variáveis fotossíntese líquida ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (*gs*, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (*E*, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Fv/Fm nas linhagens. Foram verificadas variações nos dados de trocas gasosas em função dos dias de avaliação. A (*A*), que decresceram ao longo dos dias avaliados apenas nas linhagens Z9999L e G55081L, tendo o decréscimo acentuado da linhagem Z9999L se adequando a

uma regressão linear decrescente ao longo dos dias. Esses dados indicam dificuldade de recuperação desses genótipos à aplicação do tembotrione ao longo dos dias, diferentemente dos demais genótipos. Também é possível observar que nem sempre a tendência de resposta de fotossíntese está alinhada à tendência de resposta da condutância estomática. Embora tenha havido influência dos dias de avaliação sobre a razão Fv/Fm, são respostas não ajustáveis a modelos de regressão.

Tabela 6. Efeito do período pós-aplicação de tembotrione na fotossíntese líquida ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática ($gs, \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Fv/Fm de linhagens de plantas de milho

Fotossíntese líquida A				
Dias após a aplicação	Z9999L	551CB	PGAG10051L	G55081L
7	19,29	16,13	11,01	19,88
14	16,88	18,65	14,26	18,12
21	15,02	14,86	12,46	15,76
Regressão	L*	NS	NS	NS
Condutância estomática gs				
Dias após a aplicação	551CB	PGAG10051L	G55081L	43NG34381L
7	0,2	0,17	0,19	0,18
14	0,32	0,26	0,26	0,26
21	0,19	0,18	0,2	0,18
Regressão	NS	NS	NS	NS
Fv/Fm				
Dias após a aplicação	551CB	43NG34381L	-	-
7	0,7	0,76	-	-
14	0,69	0,77	-	-
21	0,67	0,74	-	-
Regressão	NS	NS	-	-

L (Linear), *($p < 0,05$), NS ($p > 0,05$).

A Tabela 7 mostra o efeito de doses de tembotrione sobre as variáveis fotossíntese líquida ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática ($gs, \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração ($E, \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de linhagens de plantas de milho. Verificou-se que, independentemente dos dias de avaliações, o herbicida tembotrione promoveu decréscimo nas taxas de (A), (gs) e (E) na medida em que eram aumentadas as doses do tembotrione sobre a linhagem PGAG10051L, com tendência ajustável à regressão linear das variáveis fotossíntese líquida e condutância estomática. Para a linhagem 43NG34381L, algum efeito da maior dosagem promoveu uma recuperação das trocas gasosas que vinham tendo decréscimo com o aumento das dosagens até 240 mL ha⁻¹. Para as linhagens Z9999L, 551CB e G55081L, não foram observados efeitos significativos.

Tabela 7. Efeito de doses de tembotrione na fotossíntese líquida ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de linhagens de plantas de milho

Fotossíntese líquida A		
Doses de Tembotrione (mL ha^{-1})	PGAG10051L	43NG34381L
0	14,95	16,92
120	15,52	13,89
240	12,15	14,12
480	7,69	17,04
Regressão	Linear*	NS
Condutância estomática g_s		
Doses de Tembotrione (mL ha^{-1})	PGAG10051L	43NG34381L
0	0,23	0,23
120	0,23	0,2
240	0,2	0,18
480	0,17	0,22
Regressão	Linear*	NS
Transpiração E		
Doses de Tembotrione (mL ha^{-1})	PGAG10051L	43NG34381L
0	5,1	5,54
120	5,34	5,06
240	4,89	4,74
480	3,84	5,48
Regressão	NS	NS

*($p < 0,05$), NS ($p > 0,05$).

A Figura 5 mostra os modelos de superfície de resposta de análises fisiológicas das linhagens de milho Z9999L e ZKQMR2557L submetidas à aplicação de tembotrione. Verificou-se que, utilizando os efeitos interativos das dosagens do tembotrione e dos dias de avaliação, a menor dosagem utilizada promoveu maiores taxas de transpiração na linhagem Z9999L (Figura 5A), efeito esse que não foi observado para as maiores dosagens, sendo superado pelo tempo. Percebe-se que não há relação direta para condutância estomática, já que se observou maior condutância sob maiores doses e aos 14 dias após a aplicação do tembotrione (Figura 5B). Para o genótipo ZKQMR2557L, observa-se que quanto maior a dosagem do tembotrione, maior era sua influência negativa sobre as trocas gasosas e sobre a razão F_v/F_m , cuja influência negativa foi aliviada com o passar do tempo.

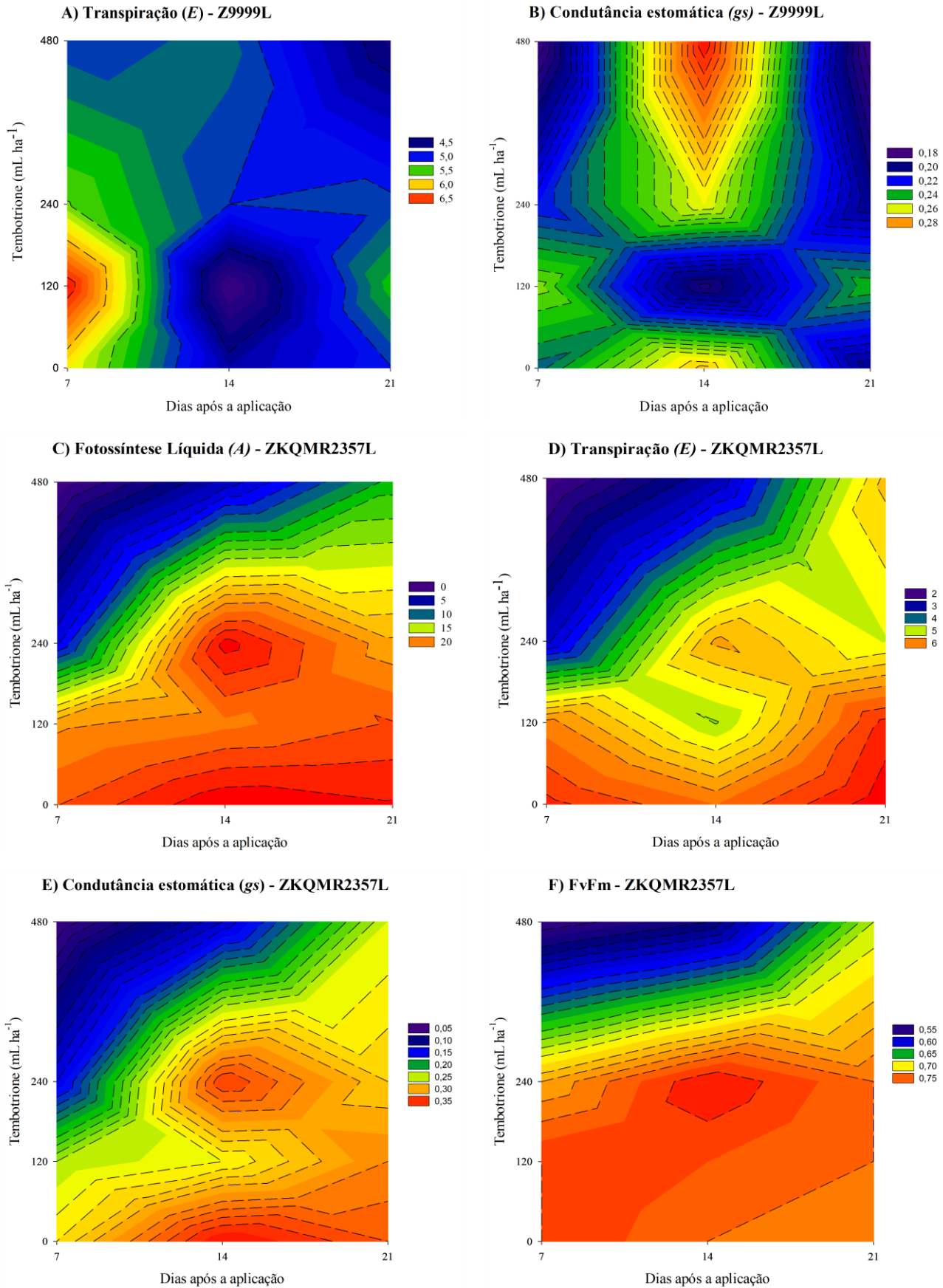


Figura 5. Modelos de superfície de resposta de análises fisiológicas das linhagens de milho Z9999L e ZKQMR2357L submetidas à aplicação de tembotrione

A Figura 6 mostra os modelos de superfície de resposta de análises de fluorescência das linhagens de milho PGAG10051L e G55081L submetidas à aplicação de tembotrione. Para a razão Fv/Fm na linhagem PGAG10051L, verificou-se efeito inibitório da maior dosagem de tembotrione aos 7 dias após a sua aplicação, mas aliviado com o passar do tempo, o mesmo se observou na linhagem G55081L, mas nesta linhagem também parece haver efeito de dias de forma independente da dosagem do tembotrione ao se observar o intervalo de 14 a 21 dias.

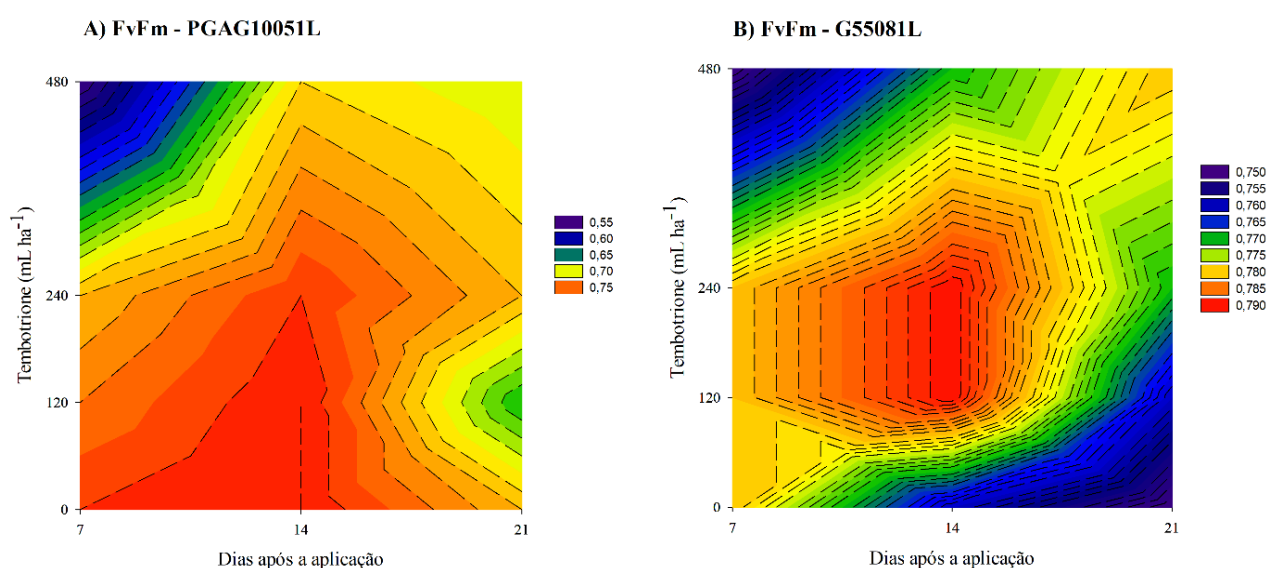


Figura 6. Modelos de superfície de resposta de análises fisiológicas das linhagens de milho PGAG10051L e G55081L submetidas à aplicação de tembotrione

A Figura 7 mostra os modelos de superfície de resposta de análise visual da tolerância das linhagens de milho em função da aplicação do herbicida tembotrione. Não foi observada interação entre os sintomas visuais (Figura 8) que denotam toxidez em plantas da linhagem 43NG4381L em relação às dosagens do tembotrione e aos dias após a aplicação, diferentemente das demais linhagens, em que a observação dos sintomas ocorreu nas plantas tratadas submetidas a maior dosagem, cujo efeito negativo foi diminuindo na medida em que se passavam os dias. As linhagens ZKQMR2357L e o PGAG10051L foram sensíveis não somente à maior dosagem, como a dosagens mais baixas e com prolongado efeito negativo ao longo dos dias após a aplicação do herbicida. Para os genótipos Z9999L, 551CB e G55081L, foram observados sintomas somente aos 7 DAA na dose 480 mL ha⁻¹, sendo que as plantas já haviam se recuperado nas demais avaliações de 14 e 21 DAA. Independentemente das doses e do período de avaliação, não foram observados sintomas visuais de clorose no genótipo 43NG34381L.

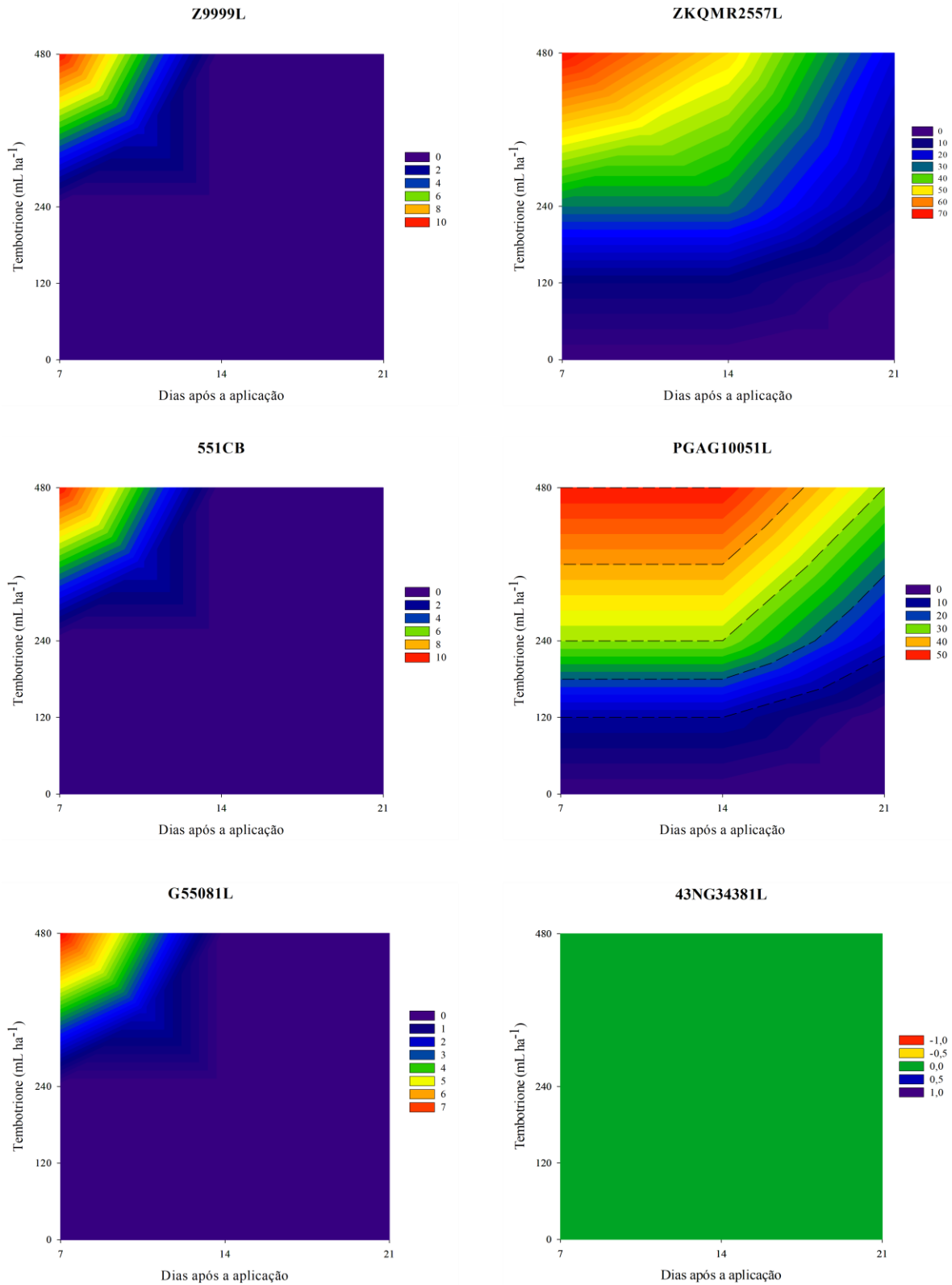











































Figura 7. Modelos de superfície de resposta de análise visual da tolerância das linhagens de milho submetidas à aplicação de tembotrione



















A Figura 8 mostra as imagens (A), (B), (C) e (D) da avaliação visual de fitotoxicidade aos 07, 14 e 21 DAA do herbicida tembotrione em linhagens de milho.

Figura 8. Avaliação visual de fitotoxicidade aos 07, 14 e 21 DAA do herbicida tembotrione em linhagens de milho

	Dose (0 mL ha ⁻¹)			A
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	
Z9999L				A
ZKQMR2357L				
551CB				
PGAG10051L				
G55081L				
43NG34381L				

Dose (120 mL ha ⁻¹)				
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	
Z9999L				B
ZKQMR2357L				
551CB				
PGAG10051L				
G55081L				
43NG34381L				

Dose (240 mL ha ⁻¹)				
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	
Z9999L				C
ZKQMR2357L				
551CB				
PGAG10051L				
G55081L				
43NG34381L				

Dose (480 mL ha ⁻¹)				
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	
Z9999L				D
ZKQMR2357L				
551CB				
PGAG10051L				
G55081L				
43NG34381L				

A Tabela 8 mostra a significância estatística de linhagens, doses de tembotrione e a interação destes fatores nos atributos Grãos por espiga (GE), Produto acabado (PA) e Produtividade (kg ha^{-1}). Pode-se observar que todas as variáveis são influenciadas pelas linhagens, pelas doses do tembotrione assim como pela interação linhagem x dose.

Tabela 8.- Significância estatística de linhagens, doses de tembotrione e interação destes fatores com os atributos avaliados

	Teste F		
	Linhagens	Doses	Linhagem*Dose
Grãos por espiga	38,98*	8,39*	4,176*
Produto acabado	38,96*	8,40*	4,175*
Produtividade (kg ha^{-1})	38,96*	8,40*	4,175*

*($p < 0,05$).

A Tabela 9 mostra os resultados das variáveis grãos por espiga (GE), produtividade (kg. ha^{-1}) (PROD), Produto acabado (PA) em função da aplicação do herbicida tembotrione. Verificou-se que entre as linhagens Z9999L, ZKQMR2557L e 43NG4381L, embora tenham decréscimo nas variáveis de produção avaliadas na medida em que se aumenta a concentração do tembotrione, apenas a linhagem Z9999L se ajustou à regressão linear de forma significativa ($p < 0,05$). Ou seja, quanto mais aumentadas as concentrações das doses de tembotrione, maior a redução da produtividade (kg. ha^{-1}) (PROD), Produto Acabado (PA) e grãos por espiga (GE). As linhagens ZKQMR2557L, PGAG1005L, G55081L e 43NG4381L não foram afetadas pelas doses.

Tabela 9. Resposta produtiva de linhagens de milho submetidas à aplicação de diferentes doses de tembotrione

Grãos por espiga					
Tembotrione (mL ha^{-1})	Z9999L	ZKQMR2557L	PGAG10051L	G55081L	43NG34381L
0	113,78	157,15	184,91	196,80	240,40
120	113,00	147,76	145,97	233,47	228,53
240	109,81	116,58	152,76	181,31	223,38
480	106,31	113,06	156,07	223,38	218,62
Regressão	L*	NS	NS	NS	NS
Produto acabado					
Tembotrione (mL ha^{-1})	Z9999L	ZKQMR2557L	PGAG10051L	G55081L	43NG34381L
0	151,81	209,53	246,55	262,40	320,53
120	150,67	197,02	194,63	311,30	304,72
240	146,42	155,45	203,68	241,75	297,72
480	141,75	150,75	208,10	297,85	291,50
Regressão	L*	NS	NS	NS	NS
Produtividade (kg. ha^{-1})					
Tembotrione	Z9999L	ZKQMR2557L	PGAG10051L	G55081L	43NG34381L

(mL ha ⁻¹)					
0	2429,07	3352,53	3944,80	4198,40	5128,54
120	2410,67	3152,27	3114,13	4980,80	4875,46
240	2342,67	2487,19	3258,93	3868,00	4763,46
480	2268,00	2412,00	3329,00	4765,60	4664,00
Regressão	L*	NS	NS	NS	NS

L (Linear), *(p<0,05), NS (p>0,05).

5. DISCUSSÃO

O herbicida tembotrione é considerado um dos mais importantes para a cultura do milho no mundo (Kakade et al., 2020; Rani et al., 2020; Stephenson et al., 2015). Sua utilização é recomendada para áreas de cultivo de todos os genótipos de milho, teoricamente por atuar sobre plantas daninhas de folha estreita ou folha larga, sem causar a morte da cultura de interesse. No entanto, seu uso tem causado morte ou injúrias em alguns híbridos de milho doce (Williams & Pataky, 2008), assim como toxidez em diferentes linhagens (Schuelter et al., 2018). Neste sentido, faz-se importante testar a tolerância de linhagens de milho a este herbicida, cuja sensibilidade pode se refletir nas cultivares resultantes das linhagens em estudo. Isto se aplica especialmente às linhagens, as quais podem ter graus de sensibilidade muito diferentes entre si.

O tembotrione atua inibindo a biossíntese da 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD), uma enzima-chave na rota de síntese dos carotenoides. Os carotenoides, por sua vez, são pigmentos importantes ao aparato fotossintético, atuando na dissipação do excesso de energia do fotossistema II (PSII), evitando, portanto, a foto-oxidação das clorofilas e a formação de radicais livres capazes de lesionar as biomembranas, contribuindo ainda para a dissipação de energia por ressonância indutiva ao centro de reação do PSII, que, por consequência, impulsiona as reações de oxirredução da fase fotoquímica da fotossíntese (Collini, 2019). Neste sentido, as plantas sensíveis ao herbicida tendem a sofrer danos foto-oxidativos no aparato fotossintético ou perdas no *quenching* fotoquímico. Por outro lado, as plantas que toleram o herbicida tendem a ter maior facilidade de inativação metabólica da substância, dependendo da concentração presente e da capacidade do genótipo em metabolizá-lo. A metabolização de muitos herbicidas, incluindo o tembotrione, depende da atividade da enzima citocromo P450 (Barrett, 2000), cuja regulação até hoje não é bem compreendida (Han et al., 2021), podendo, portanto, haver interferência do genótipo em questão. Dos genótipos estudados, o ZKQMR2357L e PGAG10051L foram os mais sensíveis ao tembotrione (Figura 8), nos quais se observou clorose foliar já com a aplicação de 120 mL ha⁻¹, havendo aumento visual na intensidade do sintoma na medida em que havia aumento da dose aplicada, cuja intensidade do sintoma persistiu até os 14 DAA. Aos 21 DAA ainda se observava clorose em menor intensidade que nas avaliações anteriores nas plantas que haviam recebido um conteúdo de uma ou duas vezes a dose recomendada. (Figura 7).

Estas observações evidenciam a dificuldade dos respectivos genótipos de metabolizar o tembotrione, o qual se mantém ativo por longo tempo, promovendo a inibição da síntese de carotenoides e a consequente oxidação das clorofilas, resultando na clorose foliar. Não se observou

nenhum sintoma visual de toxicidade no genótipo 43NG34381L, mesmo aplicando o conteúdo de 480 mL ha⁻¹, se revelando o mais tolerante ao herbicida, somando-se aos genótipos G55081L, Z9999L e 551CB, que só vieram a expressar sintoma quando do uso do dobro da dose recomendada na bula, de 480 mL ha⁻¹, obtendo notas baixas de toxicidade, sem nenhum sintoma aos 14 e 21 DAA, em que apenas os genótipos mais sensíveis, o ZKQMR2357L e o PGAG10051L, ainda mantinham sintomas de toxidez (Figura 7).

Embora o genótipo ZKQMR2357L seja sensível visualmente a 120 mL ha⁻¹ de tembotrione, a fotossíntese líquida (*A*) somente teve acentuado decréscimo quando as plantas receberam uma dose inteira aos 7 DAA, recuperando as altas taxas já aos 14 DAA. Porém, ao receber 480 mL ha⁻¹, a recuperação de *A* foi mais lenta, atingindo metade da taxa normal somente aos 21 DAA (Figura 5). Percebe-se que o decréscimo em *A* embora tenha sido limitado pelo menor potencial de eficiência fotoquímica do PSII (*Fv/Fm*), esta razão só foi limitante apenas quando da aplicação de 480 mL ha⁻¹, ou seja, neste tratamento, danos ao aparato fotoquímico, seja em clorofila ou tilacoides, expressado pela baixa razão *Fv/Fm* (Hassannejad et al., 2020), podem ter acarretado perdas de (*A*). No entanto, o comportamento de *A* foi diretamente limitado pelo comportamento da condutância estomática (*gs*) (Figura 5), em todas as doses testadas, evidenciando que a ação do tembotrione não se limita a danos ao aparato fotoquímico como consequência do decréscimo de carotenoides, mas também interfere no comportamento estomático, evidenciado tanto pela *gs* quanto pelas taxas de transpiração (*E*) (Figura 5). Embora não sejam conhecidos com precisão os mecanismos pelos quais diferentes herbicidas podem induzir fechamento estomático, sugere-se que seja consequência das alterações que desencadeiam no balanço hormonal das plantas, favorecendo a ação do ácido abscísico (Grossmann, 2003; David et al., 2017). Ao analisar os dados de produtividade, infere-se que a alta sensibilidade do genótipo Z9999L ao herbicida em questão culminou na redução de seu desempenho produtivo, uma vez que nas doses 0 e 120 mL ha⁻¹ este genótipo ficou no primeiro patamar produtivo, mas nos tratamentos de 480 mL ha⁻¹, ele assumiu o pior patamar de desempenho produtivo.

O genótipo PGAG10051L, apesar de ter sintomas de toxidez visuais persistentes quando submetido à aplicação de tembotrione, somente teve decréscimo acentuado em *Fv/Fm* aos 7 dias no tratamento de duas doses (Figura 6). No entanto, não foram observadas consequências desse comportamento sobre aspectos produtivos, uma vez que, comparativamente aos demais genótipos, não houve alteração de desempenho entre os diferentes tratamentos de dosagem do herbicida, revelando-se uma linhagem de alta resiliência à sua exposição ao herbicida.

Não se observou nenhum sintoma visual de toxidez do genótipo 43NG34381L à aplicação do tembotrione. Também não foi observada nenhuma alteração significativa em *A* ou na razão *Fv/Fm*, porém se observou variação em *g_s*. Neste caso, *A* não foi limitada pela menor *g_s*, significando que o fechamento estomático não ultrapassou um limiar que impedisse um influxo de CO₂ suficiente à satisfatória carboxilação ocorrente no Ciclo de Calvin-Benson, cuja limitação é observada com mais frequência em condições de deficiência hídrica (Salmon et al., 2020; Song et al., 2020), o que não ocorreu no experimento em função do manejo de irrigação. Da mesma forma como o genótipo foi tolerante ao herbicida em aspectos morfofisiológicos, independentemente da dosagem aplicada, também deteve o maior patamar produtivo, independentemente dos tratamentos. Comportamento semelhante de alto patamar produtivo, independentemente do tratamento, também foi observado para o genótipo G55081L.

O desempenho produtivo do genótipo Z9999L, comparativamente aos demais genótipos, foi o pior, independentemente dos tratamentos com ou sem herbicida, assim como de suas doses, apesar das altas taxas fotossintéticas em todos os tratamentos e dias de avaliações, que estavam nos mesmos patamares dos genótipos de alto desempenho produtivo. Neste caso, infere-se que a produção não esteja vinculada à capacidade do genótipo em produzir fotoassimilados, mas, sim, ao seu particionamento e à sua alocação nas cariopses (Smith et al., 2018).

Com base na Figura 1, é importante salientar que o tembotrione, ao inibir a síntese da HPPD, não somente atua como inibidor da síntese de carotenoides, como é amplamente conhecido por causa do seu mecanismo de ação, mas também inibe a síntese de plastoquinona, proteína transportadora de elétrons, essencial aos processos de oxirredução da fase fotoquímica da fotossíntese (Van Almsick et al., 2009; Choe et al., 2014). Portanto, infere-se que, além dos distúrbios causados pelo herbicida à ação fotoprotetora exercida pelos carotenoides, a inibição na síntese de plastoquinona também interfira negativamente na performance fotossintética tal qual observado para o genótipo não tolerante ao tembotrione ZKQMR2357L. A deficiência da plastoquinona, além de prejudicar o transporte de elétrons do PSII, ainda favorece a formação de radicais livres na antena do PSII, uma vez que a falta dessa proteína causa diminuição de atividade de uma via de dissipação de energia de excitação eletrônica.

Conforme a Figura 1, a enzima HPPD, inibida pelo tembotrione, é fundamental à formação do homogentisato, o qual, além da plastoquinona, também é precursor dos tocoferóis, que atuam como antioxidantes nas membranas dos cloroplastos (Lushchak & Semchuk, 2012). De acordo com Munne-Bosch et al. (2007), é provável que o α -tocoferol presente nos tilacoides atue no sequestro de oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$) e radicais peróxil lipídico, protegendo o aparato fotossintético da

toxicidade dos radicais livres e da peroxidação lipídica. Portanto, ao mencionar a ação herbicida do tembotrione, é plausível que atribuamos seu efeito inibitório não somente à síntese de carotenoides, mas também a moléculas que diretamente atuam como antioxidantes e no transporte de elétrons nas reações de oxirredução da fotossíntese.

6. CONCLUSÕES

A linhagem de milho Z9999L não apresentou sensibilidade ao herbicida tembotrione nas variáveis fotossíntese líquida (A) e F_v/F_m , mas teve baixa produtividade.

A linhagem de milho ZKQMR2357L foi sensível ao herbicida tembotrione, tendo apresentado variação em função do aumento das doses do herbicida nas variáveis fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e F_v/F_m e notas visuais, não afetando a produtividade final.

A linhagem de milho PGAG10051L se mostrou sensível ao tembotrione, com clorose acentuada e baixa taxa fotossintética apenas quando as plantas foram tratadas com 480 mL ha^{-1} do herbicida, não afetando a produtividade final.

As linhagens de milho G55081 e 43NG34381L não apresentaram sensibilidade ao herbicida tembotrione nas doses aplicadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abit, J. M.; Al-Khatib, K.; Regehr, D.L.; Tuinstra, M. R.; Claassen, M. M.; Geir, P.; Stahlman, P. W.; Gordon, B. W.; Currie, R. S. Differential response of grain sorghum hybrids to foliar-applied mesotrione. *Weed Technology*, v.23, n.1, p.28-33, 2009. DOI:10.1614/WT-08-086.1
- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Herbicidas. MAPA. Disponível em: <<http://agrofit.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 01jan.2020.
- Albuquerque, P. E. P. de. Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo. Sete Lagoas-MG: Embrapa Milho e Sorgo (Circular Técnica, 136), 2010. 24p.
- Anonymous. *Laudis Technical Bulletin*. Research Triangle Park, NC: Bayer Cropscience, 2007. 6p.
- Azevedo Neto, A. D.; Pereira, P. P. A.; Costa, D. P.; Santos A. C. C. Fluorescência da clorofila como ferramenta possível para a seleção de tolerância à salinidade em girassol. *Revista Ciência Agrônômica*, v.42, n.4, p.893-897, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400010>
- Bacelar, E. A.; Moutinho-Pereira, J. M.; Gonçalves, J. M.; Brito, B. M. C.; Gomes-Laranjo, C. V. Q.; Ferreira, J.; Correia, H. M. F.; Carlos, M. Water use strategies of plants under drought conditions. In: Aroca, R. (Ed.). *Plant responses to drought stress*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. p.145-195. DOI:10.1007/978-3-642-32653-0_6
- Balbinot Júnior, A. A.; Backes, R. L.; Alves, A. C.; Ogliari, J. B.; Fonseca, J. A. da. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v.11, n.2, p.161-166, jun.2005.
- Barrett, M. The role of cytochrome P450 enzymes in herbicide metabolism. In: Cobb, A. H.; Kirkwood, R. C. (eds.). *Herbicides and Their Mechanisms of Action*. Boca Raton, FL: CRC, 2000. p.25-37.
- Barros, J. F. C.; Calado, J. G. A Cultura do Milho. Évora: Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia, 2014. 52p. Disponível em: <file:///D:/Downloads/Sebenta-milho.pdf> Acesso em: 14 mar.2019.
- Beaudegnies, R.; Edmunds, A. J. F.; Fraser, T. E. M.; Hall, R. G.; Hawkes, T. R.; Mitchell, G.; Schaezter, J.; Wendeborn, S.; Wibley, J. Herbicidal 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase inhibitors-A review of the triketone chemistry story from a Syngenta perspective. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, EUA, v.17, n.12, p.4134-4152, 2009. DOI: 10.1016/j.bmc.2009.03.015.
- Bjorkman, O.; Demmig, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyllfluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins, *Planta*, v.170, p.489-504, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00402983>.
- Bollman, J. D.; Boerboom, C. M.; Becker, R. L.; Fritz, V. A. Efficacy and tolerance to HPPD-inhibiting herbicides in sweet corn. *Weed Technology*, v.22, n.4, p.666-674, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-08-036.1>
- Bond, J. A.; Eubank, T. W.; Bond, R. C.; Golden, B. R.; Edwards, H. M. Glyphosate-resistant italian ryegrass (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) control with fall-applied residual herbicides.

- Weed Technology, Cambridge, v.28, n.2, p.361-370, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00149.1>
- Borborema, O. E. Pequenas Barragens, Revista Irriga, Cristalina, ano 03, p.35, 2018.
- Borém, A.; Galvão, J. C. C.; Pimentel, M. A. (Orgs.) Milho: do plantio à colheita. 1ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. 351p.
- Busi, R.; Gaines, T. A.; Powles, S. Phorate can reverse P450 metabolism-based herbicide resistance in *Lolium rigidum*. Pest Management Science, v.73, n.2, p.410-417, 2017.
- Camargo, D. C. Manejo da Irrigação: quando, quanto e como irrigar. Conservação, uso racional e sustentável da água. Capacitação para Gestão das águas: ANA/INOVAGRI, 2016. 65p. Disponível em: file:///D:/Downloads/Manejo_da_Irrigacao.pdf. Acesso em 24 mar.2020.
- Cavaliere, S. D.; Oliveira Júnior, R. S.; Constantim, J.; Biffe, D. F.; Rios, F. A.; Franchini, L. H. M. Tolerância de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron. Planta Daninha, Viçosa, v.26, n.1, p.203-214, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100021>
- Chahal, P. S.; Jhala, A. J. Interaction of PS II and HPPD Inhibiting Herbicides for Control of Palmer Amaranth Resistant to Both Herbicide Sites of Action. Agronomy Journal, v.110, n.6, p.2496-2506, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0704>
- Choe, E.; Williams, M. M.; Boydston, R. A.; Huber, J. L.; Huber, S. C.; Pataky, J. K. Photosystem II inhibitors play a limited role in sweet corn response to 4-hydroxyphenyl pyruvate dioxygenase, inhibiting herbicides. Agronomy Journal, v.106, n.4, p.1317-1323, 2014.
- Christiansen, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkeley: University of Califórnia, 1942. 124p.
- Christoffoleti, P. J.; López-Ovejero, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. Planta Daninha, v.21, n.3, p.507-515, 2003.
- Christoffoleti, P.J.; Ovejero, R.F. Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, bases e situação no Brasil e no mundo. In: Christoffoleti, P.J. (Coord.) Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Piracicaba: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas, 2008. p.9-34.
- Collini, E. Carotenoids in photosynthesis: The revenge of the “Accessory” pigments. Chem, v.5, n.3, p.494-495, 2019. DOI:10.1016/j.chempr.2019.02.013
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). Acompanhamento da Safra brasileira de Grãos: safra 2019/2020 – décimo segundo levantamento, v.7. Brasília, DF: Conab, 2020. 33p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safra/gaos/> boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 16 dez. 2020.
- Couto, C. A. do.; Silva, É. M. da.; Silva, A. G. da.; Oliveira, M. T. P.; Vasconcelos, J. C. de.; Silva, A. R. da.; Sobreira, E. de. A.; Moura, J. B. Desempenho de Cultivares de Milho Destinado para Produção de Milho Verde e Silagem. Revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science, Anápolis, v.6, n.1, p.232-251, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2017v6i1.p232-251>

- Cruz, J. C.; Pereira Filho, I. A.; Alvarenga, R. A.; Gontijo Neto, M. M.; Viana, J. H. M.; Oliveira, M. F. de; Matrangolo, W. J. R.; Albuquerque Filho, M. R. de. Cultivo do Milho. 6.ed. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de Produção). 10p.
- Dall'Osto L.; Cazzaniga S.; North, H.; Marion-Poll, A.; Bassi, R. O mutante Arabidopsis aba4-1 revela uma função específica para neoxantina na proteção contra o estresse foto-oxidativo. *Célula vegetal*, v.19, n.3, p.1048-1064, 2007.
- Dan, H. de A.; Barroso, A. L. de L.; Dan, L. G. de M.; Finotti, T. R.; Feldkircher, C.; Santos, V. S. Controle de plantas daninhas na cultura do milho por meio de herbicidas aplicados em pré-emergência. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.40, n.4, p.388-393, 2010.
- Darwish, M.; Vidal, V.; Lopez-Lauri, F.; Alnaser, O.; Junglee, S.; Maataoui, M.E.; Sallanon, H. Tolerance to clomazone herbicide is linked to the state of LHC, PQ-pool and ROS detoxification in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Plant Physiology*, v.175, n.1, p.122-130, 2015.
- David Felipe, A.; Galon, L.; Perin, G. F.; Forte, C. T.; Concenço, G.; Mossi, A. J.; David Paula, R. de; Moisinho, I. S. Selectivity of herbicides to erva-mate (*Ilex paraguariensis*) plants. *African Journal of Agricultural Research*, v.12, p.48, p.3389-3398, 2017. DOI:10.5897/AJAR2017.12602
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- Entringer, G. C.; Santos, P. H. A. D.; Vettorazzi, J. C. F.; Cunha, K. S.; Pereira, M. G. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. *Revista Ceres*, v.61, n.3, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000300009>
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. World Food and Agriculture – Statistical pocketbook 2019. Rome. Disponível em <<http://www.fao.org/3/ca6463en/ca6463en.pdf>> Acesso em: 18 abr.2020.
- Ferhatoglu, Y; Barrett, M. Studies of clomazone mode of action. *Pesticide biochemistry and physiology*, v.85, n.1, p.7-14, 2006. DOI: 10.1016/j.pestbp.2005.10.002
- Fornasieri Filho, D. Manual da cultura do milho. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.
- Frans, R.; Talbert, R.; Marx, D.; Crowley, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. *In*: Camper, N. D. (Ed.). Southern Weed Science Society. Research methods in weed science, 3rd, WSSA, Champaign, 1986. p.29-45.
- Freitas, I. L. J.; Amaral Júnior, A. T.; Viana, A. P.; Pena, G. F.; Cabral, P. S.; Vitorazzi, C.; Silva, T. R. C. Ganho genético avaliado com índices de seleção e com REML/Blup em milho-pipoca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, n.11, p.1464-1471, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001100007>
- Fritsche-Neto, R.; Môro, G. T. Escolha da cultivar é determinante e deve considerar toda informação disponível. *Revista Visão Agrícola*, v.9, p.12-15, 2015.

- Estringer, G. C.; Santos, P. H. A. D.; Vettorazzi, J. C. F.; Cunha, K. S.; Pereira, M. G. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. *Revista Ceres*, v. 61, n. 3, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000300009> G. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. *Revista*
- Galon, L.; Gabiatti, R. L.; Agazzi, L. R.; Weirich, S. N.; Radunz, A. L.; Brandler, D.; Brunetto, L.; Silva, A. M. L.; Aspiazú, I.; Perin, G. F. Competição entre híbridos de milho com plantas daninhas. *South American Sciences*, v.2, n.1, p.21101-21101, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17648/sas.v2i1.101>
- Gatzweiler, E.; Krahmer, H.; Hacker, E.; Hills, M.; Trabold, K.; Bonfig-Picard, G. Weed spectrum and selectivity of tembotrione under varying environmental conditions. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control. Germany: Julius-Kühn-Archiv, n.434, p.385-391, 2012.
- Goodman, M. M.; Smith, J. D. C. Botânica. In: Paterniani, E.; Viégas, G. P. (Coord.) *Melhoramento e produção de milho no Brasil*. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.41-78.
- Grigolli, J. F. J.; Gitti, D. C.; Lourenção, A. L. F. Controle de plantas de soja e supressão do capim em milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. *Arquivos do Instituto Biológico*, v.84, n.1, p.1-7, 2017. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000592015>
- Grossmann, K. Mediation of herbicide effects by hormone interactions. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.22, n.1, p.109-122, 2003. DOI:10.1007/s00344-003-0020-0
- Han, H.; Yu, Q.; Beffa, R.; González, S.; Maiwald, F.; Wang, J.; Powles, S. B. Cytochrome P450 CYP81A10v7 in *Lolium rigidum* confers metabolic resistance to herbicides across at least five modes of action. *The Plant Journal*, v.105, n.1, p.79-92, 2021. DOI: 10.1111/tpj.1504
- Hassannejad, S.; Lotfi, R.; Ghafarbi, S. P.; Oukarroum, A.; Abbasi, A.; Kalaji, H. M.; Rastogi, A. Early Identification of Herbicide Modes of Action by the Use of Chlorophyll Fluorescence Measurements. *Plants*, v.9, n.4, p.529, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9040529>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal. Culturas temporárias e permanentes*, Rio de Janeiro, v.42 p.1-8, 2020.
- INMET. (Org.). Instituto Nacional de Meteorologia – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 12. set. 2019.
- Kakade, S. U.; Deshmukh, J. P.; Thakare, S. S.; Solanke, M. S. Efficacy of pre-and post-emergence herbicides in maize. *Indian Journal of Weed Science*, v.52, n.2, p.143-146, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5958/0974-8164.2020.00026.X>
- Karam, D.; Silva, J. A. A.; Pereira Filho, I. A.; Magalhães, P. C. Características do herbicida tembotriona na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 129).
- Lein, W.; Börnke, F.; Reindl, A.; Ehrhardt, T.; Stitt, M.; Sonnwald, U. Target-based discovery of novel herbicides. *Current opinion in plant biology*, v.7, n.2, p.219-225, 2004.

- Lushchak, V. I.; Semchuk, N. M. Tocopherol biosynthesis: chemistry, regulation and effects of environmental factors. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.34, n.5, p.1607-1628, 2012.
- Mitchell, T.; Holtorn, B. C.; Lee, T.; Sablynski, C. J.; Erez, M. Why people stay: Using job embeddedness to predict voluntary turnover. *The Academy of Management Journal*, v.44, n.6, p.1102-1121, 2001. DOI:10.2307/3069391
- Mañanares, L. B.; Netto, A. G.; Fátima Andrade, J.; Presoto, J. C. Silva, L. J. F.; Carvalho, S. J. P. Seletividade de tembotrione aplicada em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho safrinha. *Revista Agrogeambiental*, v.10, n.4, 2019. DOI:10.18406/2316-1817v10n420181167
- Mantovani, E. C.; Faccioli, G. G.; Leal, B. G.; Soares, A. A.; Costa, L. C.; Freitas, P. S. L. Influence of the water distribution uniformity and irrigation depth on the yield of irrigated bean crop. *Irriga*, v.14, n.4, p.458-469, 2009. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n4p458-469>
- Marchi, G.; Marchi, E. C. S.; Guimarães, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 36p. (Documentos 227, Embrapa Cerrados).
- Marenco, R.A.; Antezana-Vera, S.A.; Gouvêa, P.R.S.; Camargo, M.A.B.; Oliveira, M.F.; Santos, J.K.S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. *Revista Ceres*, v.61, Suplemento, p.786-799, 2014.
- Maximiano, C. V. Pré-condicionamento de sementes de milho em água com diferentes concentrações de ozônio no desenvolvimento inicial de plântulas e no controle de *Fusarium* spp. Brasília-DF: Universidade de Brasília, 2017. 55p. Dissertação Mestrado.
- Mesquita, H. C. Uso de herbicidas. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/helidamesquita/disciplinas/defesa-sanitaria-vegetal/aula-04-uso-de-herbicidas/view>. Acesso em: 10 jul.2019.
- Miranda Filho, J.B.; Viégas, G.P. Milho híbrido. In: Paterniani, E.; Viégas, G.P. (Eds.). *Melhoramento e produção do milho*. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.277-326, 1987.
- Miret, Javier A.; Munné-Bosch, Sergi. Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.1340, n.1, p.29-38, 2015.
- Munné-Bosch, S.; Weiler, E. W.; Alegre, L.; Muller, M.; Duchting, P.; Falk, J. a-Tocopherol may influence cellular signaling by modulating jasmonic acid levels in plants. *Planta*, v.225, p.681-691, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0375-0>
- Nascimento, S. P.; Bastos, E. A.; Araújo, E. C. E.; Freire Filho, F. R.; Silva, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.8, p.853-860, 2011.
- Naves-Barbiero, C.C.; Franco, A.C.; Bucci, S.J.; Goldstein, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.12, n.2, p.119-134, 2000.

- Ndikuryayo, F. 4-Hydroxyphenylpyruvate Dioxygenase Inhibitors: From Chemical Biology to Agrochemical. *Journal Agricultural Food Chemistry*, Washington, 65, n.39, p.8523–8537, 2017.
- Oliveira Júnior, R. S. de. Mecanismos de ação de herbicidas. In: Oliveira Júnior, R. S. de; Constantin, J.; Inoue, M. H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, 2011. Cap.7, p.141-192.
- Oliveira Júnior, R. S. de; Inoue, M. H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: Oliveira Júnior, R. S. de; Constantin, J.; Inoue, M. H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, 2011. Cap.10, p.243-262.
- Pandian, B.A.; Sathishraj, R.; Djanaguiraman, M.; Prasad, P.V.V.; Jugulam, M. Role of cytochrome P450 enzymes in plant stress response. *Antioxidants*, v.9, n.5, p.454, 2020.
- Pasini, R. A.; Grutzmacher, A. D.; Spagnol, D.; Zantedeschi, R.; Friedrich, F. F. Persistência de herbicidas dessecantes aplicados em milho transgênico sobre *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (*Hymenoptera: Trichogrammatidae*). *Revista Ciência Agronômica*, v.48, n.1, p.175-181, 2017.
- Paterniani, E. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Piracicaba-SP: ESALQ, 1978. 650p.
- Paz-Lima, M. L.; Marcelino, W. L.; Oliveira, N. G.; Coutinho, W. B. G.; Oliveira, A. L. L.; Fonseca, R. S. A.; Silva, L. L. A.; Santos, C.; E.; Dias Neto, J. J. (2019). *Comportamento fitossanitário de cultivares de soja (Glycine max) utilizando métodos multivariados*. Independently published, 2019. 52p.
- Pereira Filho, I. A. *O Cultivo do Milho Verde*. 1.ed. Sete Lagoas-MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 217p.
- Pinke, G.; Tóth, K.; Kovács, A. J.; Milics, G.; Varga, Z.; Blazsek, K.; Nagy, K.; Botta-Dukat, Z. Use of mesotrione and tembotrione herbicides for post-emergence weed control in alkaloid poppy (*Papaver somniferum*). *International Journal of Pest Management*, v.60, n.3, p.187-195, 2014. DOI:10.1080/09670874.2014.953622
- Rani, N.; Duhan, A.; Tomar, D. Ultimate fate of herbicide tembotrione and its metabolite TCMBA in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.203, 111023, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111023>
- Reis, M. C.; Souza, J. C.; Ramalho, M. A. P.; Guedes, F. L.; Santos, P. H. A. D. Progresso genético com a seleção recorrente recíproca para híbridos interpopulacionais de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.12, p.1667-1672, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200016>
- Retzinger Júnior, E. J.; Mallory-Smith, C. Classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Technology*, v.11, p.384-393, 1997.
- Ritchie, S. W.; Hanway J. J.; Benson, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. *Arquivo do Agrônomo* n.15. *Informações Agronômicas* n.103. Piracicaba-SP: Potafós, 2003. 20p.

- RNC – Registro Nacional de Cultivares 2021. CultivarWeb. MAPA. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 16 jan. 2021.
- Saito, B. C.; Andrade, J. A. D. C. Potencial de linhagens oriundas de populações de milho braquítico para obtenção de híbridos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.16, n.1, p.120-130, 2017.
- Sales, D. L. A.; Alves Júnior, J. A.; Pereira, R. M.; Rodriguez, W. D. M.; Casaroli, D.; Evangelista, A. W. P. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v.22, p.1-6, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2017.011>
- Salmon, Y.; Lintunen, A.; Dayet, A.; Chan, T.; Dewar, R.; Vesala, T.; Hölttä, T. Leaf carbon and water status control stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis in trees. *New phytologist*, v.226, n.3, p.690-703, 2020. <https://doi.org/10.1111/nph.16436>
- Schmitz, M.; Galon, L.; Piovesan, B.; Souza, M. F.; Forte, C. T.; Perin, G. F. Fitotoxicidade de clomazone associado com dietholate à cultura do trigo. *Revista Brasileira de Herbicidas, Londrina-PR*, v.14, n.4, p.288-295, 2015. DOI:10.7824/rbh.v14i4.457
- Schuelter, A. R.; Da Silva, M. F.; De Souza, I. R. P.; Marcolin, J.; Schuster, I. Genetic tolerance of maize lines to tembotrione and nicosulfuron. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.17, n.2, p.317-327, 2018.
- Schulte, W.; Köcher, H. Tembotrione and combination partner isoxadifen-ethyl – mode of herbicidal action. *Bayer Crop Science Journal, Alemanha*, v.62, n.1, p.35-52, 2009.
- Senseman, S.A. *Herbicide handbook*. 9.ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007. 458p.
- Siminszky B. Plant cytochrome P450-mediated herbicide metabolism. *Phytochemistry Reviews*, v.5, p.445-458, 2006.
- Smith, M. R.; Rao, I. M.; Merchant, A. Source-sink relationships in crop plants and their influence on yield development and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, v.9, p.1889, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01889>
- Soares, R. J. S.; Pinto, A. A.; Camara, F. T.; Santana, L. D. Produtividade de massa verde de milho transgênico em função do arranjo populacional na região do Cariri, CE. *Interações*, v.18, n.2, p.117-127, 2017.
- Somerville, G. J.; Powles, S. B.; Walsh, M. J.; Renton, M. Why was resistance to shorter-acting pre-emergence herbicides slower to evolve. *Pest management science*, v.73, n.5, p.844-851, 2017.
- Song, X.; Zhou, G.; He, Q.; Zhou, H. Stomatal limitations to photosynthesis and their critical water conditions in different growth stages of maize under water stress. *Agricultural Water Management*, v.241, n.5, 106330, 2020. DOI:10.1016/j.agwat.2020.106330

- Stephenson, D. O.; Bond, J. A.; Landry, R. L.; Edwards, H. M. Weed management in corn with postemergence applications of tembotrione or thien carbazono: tembotrione. *Weed Technology*, v.29, n.3, p.350-358, 2015.
- Stephenson, G. R.; Ferris, I. G.; Holland, P. T.; Nordberg, M. Glossary of terms relating to pesticides (IUPAC Recommendations 2006). *Pure and Applied Chemistry*, v.78, n.11, p.2075-2154, 2006.
- Stone, L. F.; Silva, P. M.; Moreira, J. A. A. *Métodos de Irrigação*. Brasília-DF: Embrapa, 2017.
- Trezzi, M. M.; Vidal, R. A. Herbicidas inibidores da ALS. In: Vidal, R. A.; Merotto Jr., A.(Ed.) *Herbicidologia*. Porto Alegre: Edição dos Autores, 2001. p.25-36.
- USDA – United States Department of Agriculture. Grain: World Markets and Trade. United States Environmental Protection Agency Washington, D.C., 2020. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>> Acesso em: 19 fev. 2020.
- Van Almsick, A. New HPPD-inhibitors—a proven mode of action as a new hope to solve current weed problems. *Outlooks on Pest Management*, v.20, n.1, p.27-30, 2009.
- Van Almsick, A.; Benet-Buchholz, J.; Olenik, B.; Willms, L. Tembotrione – a new exceptionally safe cross-spectrum herbicide for corn production. *Bayer Cropscience Journal*, Alemanha, v.62, n.1, p.5-16, 2009.
- Vargas, L.; Peixoto, C.M.; Roman, E.S. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 67p. (Documentos Online 61). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPT-2010/40679/1/p-do61.pdf> Acesso em: 10 jan.2020.
- Walsh, M. J.; Stratford, K.; Stone, K.; Powles, S. B. Efeitos sinérgicos da atrazina e mesotriona em populações suscetíveis e resistentes de rabanete (*Raphanus raphanistrum*) e o potencial de superação da resistência aos herbicidas triazina. *Weed Technology*, v.26, n.2, p.341-347, 2012.
- Wang, D. W.; Lin, H. Y.; Cao, R. J.; Ming, Z. Z.; Chen, T.; Hao, G. F.; Yang, W. C.; Yang, G. F. Design, synthesis, and herbicidal activity of novel quinazoline-2,4-diones as 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase inhibitors. *Pest Management Science*, EUA, v.71, n.8 p.1122–1132, 2014.
- Williams, M. M.; Pataky, J. K. Genetic basis of sensitivity in sweet corn to tembotrione. *Weed Science*, v.56, n.3, p.364-370, 2008.
- Williams, M. M.; Pataky, J. K. Factors affecting differential sensitivity of sweet corn to HPPD-inhibiting herbicides. *Weed science*, v.58, n.3, p.289-294, 2010.
- Zambolim, L.; Jesus Júnior, W.C.; Rodrigues, F.A (Eds). *O essencial da fitopatologia: controle de doenças de plantas*. São Carlos-SP: Suprema Gráfica e Editora, 2014. 576 p.
- Zancanaro, P. O. Deriva genética de caracteres quantitativos em milho. Piracicaba: ESALQ/USP, 2016. 288p. Tese Doutorado.