

FATORES FISIOLÓGICOS E FITOTÉCNICOS COMO
INDICADORES PRECOSES DE SELETIVIDADE DE HERBICIDAS
EM GENÓTIPOS DE MILHO PIPOCA

MARIA CLARA COUTINHO RODRIGUES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2021

FATORES FISIOLÓGICOS E FITOTÉCNICOS COMO
INDICADORES PRECOSES DE SELETIVIDADE DE HERBICIDAS
EM GENÓTIPOS DE MILHO PIPOCA

MARIA CLARA COUTINHO RODRIGUES

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Silvério de Paiva Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

FEVEREIRO – 2021

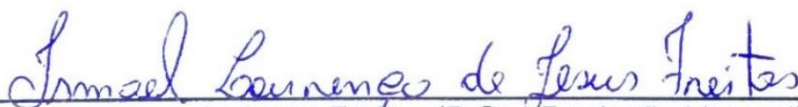
FATORES FISIOLÓGICOS E FITOTÉCNICOS COMO
INDICADORES PRECOSES DE SELETIVIDADE DE HERBICIDAS
EM GENÓTIPOS DE MILHO PIPOCA

MARIA CLARA COUTINHO RODRIGUES

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciências e Tecnologias Agropecuárias da
Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das
exigências para obtenção do título de
Mestrado em Produção Vegetal

Aprovado em 25 de fevereiro de 2021

Comissão Examinadora



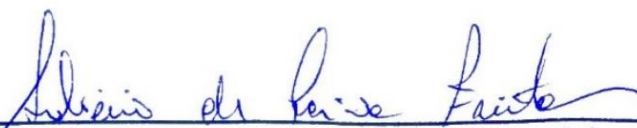
Ismael Lourenço de Jesus Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) – UFES



Herval Martinho Ferreira Paes (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



Weverton Pereira Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) – UEMASUL



Prof. Silvério de Paiva Freitas (D.Sc., Fitotecnia) – UENF

(Orientador)

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

R696

Rodrigues, Maria Clara Coutinho.

Fatores fisiológicos e fitotécnicos como indicadores de seletividade de herbicidas em genótipos de milho pipoca / Maria Clara Coutinho Rodrigues. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

73 f. : il.

Bibliografia: 64 - 73.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2021.
Orientador: Silverio de Paiva Freitas.

1. fluorescência. 2. fitotoxidez. 3. controle químico. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

Ao meu querido esposo Tiago.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e alimento do espírito, que torna todas as coisas impossíveis, possíveis;

Agradeço a Nossa Senhora Aparecida e todas as invocações Marianas, que têm advogado fielmente todas as minhas causas;

Agradeço aos meus pais, Dilson e Ana Cláudia, pela motivação e pelo exemplo de dignidade, luta e perseverança;

Agradeço ao meu esposo Tiago, por todo o incentivo, pelo crédito em mim depositado, e pelo amor a mim dispensado;

Agradeço ao meu irmão Hugo e minha tia Fernanda, por sempre me mostrarem outras perspectivas de vida e que os problemas cotidianos são na maioria das vezes sem importância e passageiros;

À minha avó Airce (*in memoriam*), que é meu maior exemplo de fé e deu forma ao que significa ser uma mulher negra;

Agradeço aos meus amigos e colegas de laboratório das salas 115,119 e 120;

Ao meu orientador, Professor Silvério de Paiva Freitas, pela orientação, apoio, incentivo e aconselhamentos;

Aos técnicos Detony, Herval, Glória e Guilherme por todo apoio, paciência e ensinamentos;

Aos professores Amaral, Ismael, Sílvio e Paulo César pelas valiosas contribuições ao trabalho e ao Pedro pela disponibilização das sementes;

Aos colegas Waldinei, Juliana, Giovanna, David e Tamara por toda ajuda no desenvolvimento de minha dissertação;

Agradeço à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de aprendizado;

Agradeço às instituições de fomento CAPES (Número do processo: 88882.449483/2019-01), FAPERJ e CNPq pelo apoio à minha pesquisa;

E a todos aqui não citados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL	3
2.1. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Milho Pipoca	4
3.2. Plantas Daninhas.....	6
3.3. Controle Químico	8
3.3.1. Características dos herbicidas utilizados.....	9
3.4. Fluorescência da clorofila 'a' como indicador de seletividade de herbicidas 12	
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1. Delineamento e execução experimental	15
4.2. Avaliações.....	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
5.1. Parâmetros Fisiológicos.....	20
5.2. Parâmetros Biométricos.....	41
6. RESUMO E CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

RESUMO

RODRIGUES, MARIA CLARA COUTINHO; M.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro 2021. Fatores fisiológicos e fitotécnicos como indicadores de seletividade de herbicidas em genótipos de milho pipoca. Orientador: Prof. Dr. Silvério de Paiva Freitas.

No Brasil, a cultura do milho pipoca está em constante crescimento. No entanto, são escassos os estudos que relacionem o manejo químico de plantas daninhas e possíveis impactos à fisiologia e produtividade da cultura. Deste modo, objetiva-se avaliar danos fisiológicos e biométricos causados por herbicidas pós-emergentes aplicados em diferentes genótipos de milho pipoca. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP-UENF) e foi adotado esquema fatorial 4x4 em blocos ao acaso, com quatro repetições e duas plantas por parcela. Os tratamentos foram compostos da seguinte forma: Testemunha (dose 0), Atrazina (Aclamado BR® - 2500 g ha⁻¹ i.a.), Tembotriona (Soberan® - 100,8 g ha⁻¹ i.a.), Atrazina+S-metolachlor (Primestra Gold® - 1665 g ha⁻¹ i.a. + 1305 g ha⁻¹ i.a. e, quatro genótipos (UENF UEM 01, UENF 03, UENF HS02 e UENF 14). A aplicação dos tratamentos foi realizada aos 14 dias após a semeadura (estádio V4), com auxílio de pulverizador pressurizado à CO₂. Aos 4,12,19 e 26 e 30 e 45 dias após a aplicação dos herbicidas foram avaliados e o diâmetro à altura do colo (mm), largura da folha no terço médio (cm), comprimento da nervura central (cm), índice de clorofila, escala de fitotoxidez e fluorescência da clorofila a, avaliados às 9 h da manhã. Aos 30 dias após aplicação, a fluorescência da clorofila a foi avaliada antes do amanhecer, às 9h da

manhã e ao meio dia, a fim de investigar o comportamento do processo fotossintético sob diferentes horários do dia. Ao fim do experimento, foi determinado rendimento de grãos (g.vaso^{-1}). Aos quatro dias após a aplicação dos tratamentos, o herbicida Tembotriona reduziu o diâmetro do colmo (mm) para todos os genótipos e reduziu o comprimento da nervura central, com maior intensidade no genótipo UENF 14. Houve recuperação para essas características após 12 dias de aplicação dos tratamentos. O herbicida Atrazina reduziu o rendimento de grãos (g.vaso^{-1}) para todos os genótipos, sendo a combinação 'UENF HS02 x Atrazina' a que obteve pior performance. Os demais herbicidas foram seletivos para o milho pipoca. A fluorescência mínima (F_0) e eficiência fotoquímica (F_v/F_m) foram capazes de indicar aos 19 dias após aplicação dos tratamentos os efeitos dos herbicidas sobre a produtividade.

Palavras chave: fluorescência, fitotoxidez, controle químico.

ABSTRACT

RODRIGUES, MARIA CLARA COUTINHO; M.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February 2021. Physiological and phytotechnical factors as indicators of herbicide selectivity in genotypes of popcorn. Supervisor: Prof.Dr. Silvério de Paiva Freitas.

Popcorn cultivation is constantly growing in Brazil. However, studies reporting chemical management of weed and its possible impacts on the physiology and productivity of popcorn crops are scarce. Thus, this work aimed to evaluate physiological and biometric damage caused by post-emergent herbicides applied to different popcorn genotypes. The experiment was carried out in a greenhouse at the Research Support Unit (UAP-UENF) in randomized block design (4x4 factorial scheme) with 4 replicates and two plants per plot. The treatments were composed as follows: Control, Atrazina (Aclamado BR ®- 2500 g ha⁻¹ a.i.), Tembotriona (Soberan ®-100.8 g ha⁻¹ a.i.), Atrazina + S-metallochlor (Primestra Gold ®-1665 g ha⁻¹ ai + 1305 g ha⁻¹ a.i., and four genotypes (UENF UEM 01, UENF 03, UENF HS02 and UENF 14). The herbicide applications were done 14 days after sowing (stage V4) using a pressurized CO₂ sprayer. After that, we evaluated stem diameter (mm), width in the middle third part of the leaf (cm), midrib length (cm), chlorophyll index (SPAD), phytotoxicity scale, and chlorophyll a fluorescence at 4,12,19, 26, and 45 days after herbicide application. The chlorophyll a fluorescence was also evaluated in the dark, at 9 am and at noon (30 days after herbicide application) in order to investigate the response of the photosynthetic parameters under different light intensities. Grain yield (g.vase⁻¹) was determined at the end of the experiment. The herbicide Tembotriona reduced

the stem diameter (mm) for all genotypes and reduced the length of the midrib, with greater intensity in the UENF 14 genotype. These effects were observed already 4 days after application, but the plants recovered for these characteristics 12 days after the herbicide application. The herbicide Atrazina® reduced the grain yield (g.vase^{-1}) for all genotypes, with 'UENF HS02 x Atrazina' treatment having the worst performance. The other herbicides were selective for popcorn. The minimum fluorescence (F_0) and photochemical efficiency (F_v / F_m) were able to indicate, at 19 days after the application of the treatments, the effects of herbicides on productivity.

Keywords: fluorescence, phytotoxicity, chemical control.

1. INTRODUÇÃO

O milho pipoca é uma cultura de elevado valor agregado e com a popularização de fornos micro-ondas e máquinas elétricas de pipoca, tem sido notado um acréscimo no consumo e na produção deste alimento (Silva et al., 2013). É fonte de fibras, vitamina B1, B2, E, e minerais como fósforo e potássio (Matos et al., 2006). Preferencialmente, é produzido para consumo na forma de pipoca, no entanto, vem sendo realizadas pesquisas para avaliar a viabilidade de seu cultivo com o intuito de produção de minimilho (Costa, 2018).

Apesar dos avanços na cultura do milho pipoca, o volume produzido ainda é considerado insuficiente para atender a demanda do mercado interno brasileiro (Freitas Júnior et al., 2009; Vieira et al., 2016). Todavia, são observadas mudanças no perfil de cultivo nacional, principalmente em função da crescente utilização de híbridos nacionais e norte-americanos, resultando no aumento do plantio e redução da importação de grãos. Em decorrência destas mudanças, a importação de grãos dos Estados Unidos da América e Argentina teve grande redução (Miranda et al., 2012; Ribeiro et al., 2016a).

Apesar de expressiva, a produção nacional de milho pipoca frequentemente é computada junto ao milho comum, tornando difícil o acompanhamento da evolução da cultura ao longo dos anos. Conforme apresentado no Anuário Brasileiro de Milho em 2019, o cultivo de milho pipoca foi responsável por ocupar uma área equivalente a 60.017 hectares na safra de 2018, com uma produção de 268.402 toneladas e produtividade média de 4.472 quilos de grãos por hectare. Ainda segundo o mesmo documento, havia uma

previsão de 66.986 hectares de área plantada e produção de 289.667 toneladas do grão para o ano de 2019, significando uma alta de 11.6% de área plantada e 7,92% de produção, respectivamente (Kist et al., 2019).

A produção de milho de pipoca está concentrada na Região Centro Oeste, principalmente no Estado de Mato Grosso. O sucesso desse plantio na região é possível pois além de fornecer as condições ambientais adequadas, nesta região estão instaladas empresas que trabalham junto aos produtores em esquema de integração, ou seja, elas fornecem as sementes e garantem a compra dos grãos para empacotamento e venda (Kist et al., 2019).

A comercialização desse produto é feita em função do peso dos grãos. Um dos fatores mais importantes na classificação da qualidade do produto final é a capacidade de expansão, que indica a capacidade dos grãos expandirem-se e aumentarem seu volume (Ribeiro et al., 2012).

Uma das principais causas na redução da produtividade dos cultivos é a competição com plantas daninhas. As perdas com essa competição indesejada podem variar de 10 a mais de 80% em virtude da espécie competidora, do grau de infestação, do período de convivência, do estágio de desenvolvimento da cultura e das condições climáticas durante o período de convivência (Silva e Silva, 2007). Além disso, a utilização de herbicidas registrados para a cultura do milho comum pode não ser adequada a todos os genótipos de milho pipoca, gerando respostas diferenciais a cada genótipo. Desta forma, devem ser adotadas técnicas de manejo para evitar a interferência destas espécies nos cultivos, visando o maior rendimento da cultura. Neste enfoque, destaca-se o controle químico, em razão da sua alta eficácia, rapidez de controle e menor demanda de mão-de-obra.

2. OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar precocemente possíveis danos fisiológicos e biométricos causados por herbicidas pós-emergentes aplicados em diferentes genótipos de milho pipoca.

2.1. Objetivos específicos

- ✓ Identificar genótipos sensíveis e os tolerantes aos herbicidas pós-emergentes aplicados;
- ✓ Avaliar tempo de recuperação aos possíveis danos causados pelos herbicidas;
- ✓ Quantificar os possíveis danos aos componentes de produção nos diferentes genótipos de milho pipoca em função dos tratamentos aplicados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Milho Pipoca

O milho pipoca (*Zea mays* L.) é uma planta da família *Poaceae*, sub família *Panicoidae* e tribo *Maydeae*. Assim como o milho comum, trata-se de uma planta herbácea, de cultivo anual e monoica. Em um comparativo entre o milho pipoca e o milho comum, o milho pipoca apresenta grãos menores, maior prolificidade, menor vigor e é mais suscetível às doenças (Freitas Júnior et al., 2009; Lima et al., 2016), e conseqüentemente, mais sensível à competição com as plantas daninhas.

Originário da América Central, o milho pipoca, assim como outros tipos de milho, possui grande adaptação aos diversos climas, permitindo seu amplo cultivo. É muito apreciado pelos indígenas da América Central e do Norte e tem enorme valor cultural (Flint-Garcia, 2017). Nutricionalmente, o milho pipoca desempenha papel de fonte energética por ser rico em carboidratos, fonte de fibras, de vitaminas do complexo B1, B2, E e minerais, como fósforo e potássio (Matos et al., 2006). Além da importância nutricional e tradição indígena, essa cultura é apreciada em festas e adorações religiosas, principalmente aos praticantes de religiões afrodescendentes (Blake, 2015). Atualmente essa cultura é muito apreciada em salas de cinema, gerando grandes contratos entre fornecedores dos grãos e redes de cinema (Gupta et al., 2016), e conseqüentemente, gera também contratos entre produtores e empresas empacotadoras do produto.

A percepção da cultura aos fatores ambientais pode modificar seu crescimento, desenvolvimento, e produção nos diferentes ambientes. Isso impulsiona programas de melhoramento genético de milho pipoca a buscar genótipos cada vez mais adaptados aos sítios específicos. As principais características procuradas por esses programas são alta produtividade, alta capacidade de expansão, resistência às pragas e doenças, resistência ao acamamento e quebramento das plantas, qualidade e cor dos grãos, sabor e maciez da pipoca produzida (Freire et al., 2020). Com relação à tolerância aos herbicidas eficientes no controle de plantas daninhas, os genótipos após seleção são testados para essas características e não selecionados em função dela.

A temperatura e precipitação são de grande importância para a produtividade final e qualidade dos grãos. A implantação da cultura é contraindicada em locais onde a temperatura média seja abaixo dos 10°C ou acima dos 40°C, sendo a temperatura média ideal em torno de 30°C. Além disso, é requerida precipitação total ou lâmina de água em torno de 600 mm, de forma que o teor de água disponível no solo não ultrapasse 40% (Vittorazzi et al., 2013). Nesse sentido, os programas de melhoramento genético buscam selecionar linhagens de milho pipoca para regiões secas em função da correlação entre capacidade de expansão e produtividade (Kamphorst et al., 2020; Zipper et al., 2016).

Em função da expressiva demanda interna por milho pipoca, principalmente no segmento industrial, observa-se o aumento das áreas cultivadas ao longo dos últimos anos. No entanto a maior parte das sementes e grãos de milho pipoca consumidos no Brasil são oriundos da importação de países como Estados Unidos e Argentina (Lima et al., 2016; Miranda et al., 2012; Ribeiro et al., 2016b)

Todavia, mudanças mercadológicas têm ocorrido. Segundo levantamento feito pelo SENASA (2018), o Brasil importou 12 mil toneladas de milho pipoca no ano de 2011, 13 mil toneladas em 2012, 6 mil toneladas em 2013 e apenas 2 mil toneladas em 2014. Esse decréscimo de importações é um reflexo do aumento do cultivo de híbridos nacionais e norte-americanos. Além disso, é possível observar uma migração de produtores de milho convencional para produtores de milho pipoca, uma vez que o preço de mercado do milho pipoca é maior que o milho convencional.

Ainda que seja possível observar a reorganização da cadeia de produção do milho pipoca nos últimos anos, uma das maiores dificuldades na cultura é o levantamento de dados atualizados sobre o tema. Frequentemente, a produção nacional de milho é computada de maneira global, ignorando seus múltiplos usos como o milho pipoca, pois apesar de pertencerem à mesma espécie, adotam tratamentos culturais distintos. Além disso, é comum que informações acerca da cultura no país fiquem retidas em empresas privadas (Coan et al., 2018).

Outra grande barreira ainda é a carência de informações fitotécnicas sobre sua produção. Isso acarreta na importação de informações experimentais sobre práticas culturais como manejo de plantas daninhas, época de plantio e tratamentos culturais do milho comum que já possui um grande pacote tecnológico ajustado às suas necessidades (Freitas Júnior et al., 2009).

A competição entre plantas daninhas e a cultura por água, espaço vital, luz e nutrientes pode resultar na diminuição significativa da produtividade do milho pipoca. Alguns estudos já foram desenvolvidos com o intuito de avaliar formas de controle de plantas daninhas na cultura do milho pipoca. Além disso, a conversão de áreas de cultivo de milho comum para milho pipoca faz com que exista uma gama de plantas daninhas presentes, e por se tratar de plantas da mesma espécie, o dano à cultura pode ocorrer. E a importação direta de métodos de controle utilizados para o milho comum, com destaque o químico, pode impulsionar intoxicação nas plantas do milho pipoca, controle ineficiente das plantas daninhas e surgimento de plantas resistentes. Deste modo, há a necessidade de desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao uso de herbicidas e tecnologias associadas no controle de plantas daninhas na cultura do milho pipoca.

3.2. Plantas Daninhas

As terminologias plantas daninhas, invasoras, ruderais, voluntárias, mato ou inço são amplamente utilizadas na literatura para classificar plantas que ocorrem onde não são desejadas, infestando áreas agrícolas, pecuárias e outros setores de uso humano. No entanto, as plantas daninhas verdadeiras possuem características distintas das demais, as quais competem com culturas de interesse pelos fatores de produção (Marinis, 1972).

As plantas daninhas verdadeiras são rústicas, resistindo às condições adversas do ambiente, resistentes às pragas e doenças, e possuem facilidade na produção e disseminação de propágulos. Essas características conferem a elas grande agressividade e interferência negativa sobre a cultura de interesse, uma vez que competem por água, luz, nutrientes e espaço vital (Oliveira Júnior et al., 2011).

A origem das plantas daninhas é associada ao início da atividade agrícola, indicando influência humana no surgimento e desenvolvimento das espécies. Essas plantas são citadas em textos antigos como a bíblia cristã, na 'parábola do trigo e do joio'. Baker (1974) propõe três teorias que defendem a ação antrópica na evolução destas plantas (i) adaptação e seleção de espécies selvagens pelo contínuo distúrbio do habitat; (ii) hibridações entre espécies selvagens e espécies cultivadas; (iii) genótipos abandonados no processo de domesticação.

O melhoramento genético de plantas cultivadas vai de encontro à evolução de plantas daninhas. Seleção de genótipos de interesse humano pode suprimir a rusticidade das plantas cultivadas, ao passo que as plantas daninhas vêm sendo selecionadas naturalmente a manter essa característica. Além disso, essas espécies desenvolveram mecanismos de sobrevivência e disseminação eficazes, como a grande produção de propágulos, persistência do banco de sementes do solo, desuniformidade no processo germinativo, capacidade de emergir a grandes profundidades e viabilidade dos propágulos em condições desfavoráveis (Barroso et al., 2014).

Todavia, a presença de plantas daninhas apresenta pontos positivos, como o controle da erosão, reciclagem de nutrientes, produção de compostos medicinais, fornecimento de pólen para insetos importantes na cadeia ecológica e fornecimento de cobertura viva e morta para o solo (Lemaire et al., 2014).

Atualmente, o contexto da produção agrícola exige o uso racional de recursos naturais e a minimização dos impactos gerados por essa atividade. Desta forma, o planejamento das safras deve prever estratégias eficientes para o controle de fatores que podem afetar a produção, como as plantas daninhas. Neste enfoque, desenvolve-se o Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD) que é definido como a associação de diferentes alternativas de manejo, as quais incluem o controle cultural, mecânico, físico, biológico e químico (Swanton e Weise, 1991) e objetivam manter a interferência de plantas daninhas abaixo do

nível de dano econômico. Dentre as possibilidades de manejo de plantas daninhas, o controle químico é o mais utilizado, seja integrado a outros tipos de controle ou sozinho.

3.3. Controle Químico

A presença de plantas daninhas nos cultivos pode causar inúmeros prejuízos, como a diminuição do rendimento da cultura, dificuldades no processo de colheita e beneficiamento, diminuição da qualidade dos grãos, liberação de compostos alelopáticos prejudiciais à cultura e a possibilidade de atuarem como hospedeiras de pragas e doenças. (Costa et al., 2012; Galvão et al., 2014).

O método de controle químico é considerado rápido e eficiente no controle dessas plantas, uma vez que visa seletividade à cultura, menor utilização de mão de obra, permite o manejo de plantas daninhas em qualquer época do ano, reduz a necessidade de movimentação do solo e tráfego de máquinas na área, pode ser utilizado apenas na linha de cultivo e, quando aplicado sob uma abordagem racional, busca menor impacto ambiental (Swanton e Weise, 1991).

A seletividade do herbicida à cultura garante a segurança de aplicação de substâncias químicas nas lavouras e é considerada a base do sucesso para o controle químico de plantas daninhas. Esse mecanismo baseia-se na habilidade da cultura de compartimentalizar, decompor e ou metabolizar as moléculas do herbicida sem que ocorra dano à mesma ou dano mínimo (Carvalho, 2013). Desta forma, a planta cultivada resiste às aplicações ao passo que as plantas daninhas são controladas.

Entre os vários fatores que afetam a seletividade dos herbicidas estão listadas as características intrínsecas dos herbicidas, método de aplicação, formulação, dose e local de atuação do herbicida. Além disso, as características da cultura também podem interferir na seletividade, uma vez que a idade das plantas, cultivar, tamanho dos propágulos, seletividade associada ao metabolismo diferencial (detoxificação) e a translocação diferencial são fatores que interferem na mesma. (Oliveira Júnior et al., 2011)

A detoxificação é apontada como o mecanismo mais comum de seletividade de plantas aos herbicidas. Nesta dinâmica, as plantas tolerantes são capazes de realizar alterações ou degradação completa da estrutura do herbicida,

formando compostos atóxicos (Akobundu, 1987). Neste caso, os componentes tóxicos são removidos do citoplasma, podendo ser compartimentalizado nos vacúolos e/ou excretados para o meio extracelular.

Trabalhos realizados testando seletividade dos herbicidas atrazina, nicosulfuron e mesotrione aos diferentes genótipos de milho pipoca, indicaram que os genótipos UENF 14, BRS Ângela, IAC 112, IAC125, UNB-2U C4 e Zélia testados sofreram sintomas de fitotoxidez que desaparecem após 30 dias da aplicação (Brito, 2017; Freitas, 2010; Freitas et al., 2014; Freitas et al., 2016).

Brito (2017), avaliando efeito dos herbicidas atrazina, nicosulfuron e mesotrione com doses combinadas e isoladas aplicadas na variedade UENF 14, observou que o milho pipoca pode metabolizar as moléculas do herbicida, inativando-as. No entanto, muitos compostos do metabolismo primário, conjuntamente com proteínas sinalizadoras e suas vias, também foram alteradas variando com a tolerância da planta e a intensidade de estresse causado.

A análise conjunta destes trabalhos demonstra que apesar da indicação de herbicidas aplicados no milho comum serem seletivos ao milho pipoca, existe variação no nível de dano causado em cada genótipo. Deste modo, há a necessidade de realização de pesquisa com seletividade de herbicidas para cada genótipo, nova variedade ou novo híbrido lançado, e avaliação do impacto dos mesmos na produção de espigas (Brito, 2017; Delmasquio, 2017; Freitas et al., 2014; Freitas et al., 2016).

3.3.1. Características dos herbicidas utilizados

- Herbicida Atrazina

A molécula atrazina é a principal representante do grupo químico triazinas, sua fórmula química é 6-chloro-N2-ethyl-N4-isopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine e, devido à presença de cloro, a atrazina é incluída no grupo das clorotriazinas. Originalmente a aplicação de atrazina e de outras moléculas herbicidas de triazinas era feita em pré-emergência. No entanto, devido à dificuldade de obtenção de períodos secos pós-semeadura durante a década de 90, muitos produtores começaram a utilizar o herbicida de forma tardia, nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas. Ao observar-se que o milho não era prejudicado,

a prática foi difundida tornando-o um herbicida de uso pós-emergente precoce (Blanco et al., 2013).

A atrazina é considerada uma base fraca, solúvel em água, de moderada mobilidade e elevada persistência no ambiente. Esse herbicida atua na membrana do cloroplasto, onde ocorre a fase fotoquímica da fotossíntese, prejudicando o transporte de elétrons. Em plantas suscetíveis o herbicida acopla-se à Quinona B impedindo que ocorra o transporte de elétrons até a plastoquinona. Como consequência, a produção de ATP e NADPH₂ é cessada na planta (Christoffoleti, 1999).

O herbicida Aclamado BR ®, com composição 6-chloro-N₂-ethyl-N₄-isopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine (500 g/L) e outros ingredientes (604,80 g/L), é um herbicida seletivo de ação sistêmica do grupo das atrazinas. É comercializado na forma de solução concentrada e é recomendado para o controle de plantas daninhas em pós-emergência na cultura do milho comum, milheto, sorgo e cana de açúcar. Trata-se de um produto pouco tóxico para humanos, mas muito perigoso ao meio ambiente por apresentar alta persistência de suas moléculas no mesmo. Em função do risco de contaminação ambiental, assim como outros herbicidas é importante a averiguação e ajuste de seu uso para recomendação em novos genótipos (Ouro Fino Agrociência, 2018).

- Herbicida S-metolachlor

Pertencente ao grupo químico cloroacetamidas e de fórmula ((S)-2-Chloro-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)-N-(2-methoxy-1-methylethyl)acetamide), o herbicida metolachlor é formado por dois isômeros R e dois isômeros S, sendo os isômeros S o de maior atividade herbicida (Moser et al., 1983). É absorvido principalmente pelo coleótilo e hipocótilo de plântulas, quando atravessam o solo tratado com o produto durante a emergência da cultura. As absorções foliares e radiculares são consideradas muito reduzidas (Karam et al., 2003)

S-metolachlor atua inibindo a emergência de plantas sensíveis, pois inibem o crescimento do meristema apical e da raiz. Esse herbicida é considerado seletivo à cultura do milho, pois o mesmo é capaz de metabolizar rapidamente a molécula em compostos atóxicos, evitando o acúmulo dessa substância no meristema apical e radicular (Fuerst, 1987; Liebl, 1995).

Além do uso individual, o herbicida S-metolachlor pode ser utilizado em mistura para potencializar efeitos de outros herbicidas como é o caso da formulação comercial Primestra Gold ®, que é uma mistura de Atrazina e S-metolachlor amplamente utilizada no cultivo do milho comum. Essa formulação é composta de 370g. L⁻¹ de atrazina, 290 g.L⁻¹ de S-metolachlor, 38,87 g.L⁻¹ de monoetilenoglicol e 411,13 g.L⁻¹ de outros ingredientes. Trata-se de um herbicida de ação sistêmica, com formulação em suspensão concentrada, recomendado para cultura do milho e caracterizado pelo amplo espectro no controle de plantas daninhas com destaque para o controle da Trapoeraba (*Commelina benghalensis*) (Syngenta, 2020).

- Herbicida Tembotriona

O composto Tembotriona pertence ao grupo químico das tricetonas, apresenta fórmula química {2-[2-chloro-4-(methylsulfonyl)-3-((2,2,2-trifluoroethoxy)methyl)-benzoyl]-1,3-ciclohexanedione} e é comumente utilizado como herbicida pós-emergente na cultura do milho comum. Tembotriona apresenta como características físico-químicas a alta solubilidade em água a 20°C, pKa de 3,14 e meia vida no solo de 10 a 14 dias, permanecendo mais estável em solos com pH aumentado. Trata-se de um inibidor da biossíntese de carotenoides, pois atuam inibindo a ação da enzima 4-hidroxifenilpiruvato-dioxigenase (4-HPPD) nos cloroplastos (Barchanska et al., 2016; Calvayrac et al., 2013).

Tembotriona transloca-se via apoplástica e é rapidamente absorvido nos tecidos meristemáticos de folhas e raízes. Ocorre grande acumulação nos cloroplastos que é seu local de ação. O efeito visual esperado em decorrência do uso de tembotriona é a clorose nas folhas do terço superior da planta. Tais efeitos costumam desaparecer após 30 dias de aplicação do herbicida (Freitas et al., 2014).

Soberan ® é um exemplo de formulação comercial à base de tembotriona, contendo 420 g.L⁻¹ desse princípio ativo e 783 g.L⁻¹ de outros ingredientes. É um herbicida seletivo sistêmico, com formulação em solução concentrada, indicado para a cultura do milho com controle de plantas infestantes em amplo espectro (BayerCropScience, 2017).

Além disso, olerícolas costumam ser muito sensíveis aos resíduos desse herbicida no solo em condições tropicais, limitando a rotação de culturas entre milho e outras olerícolas como a batata (Melo et al., 2016; Bayer CropScience, 2017).

3.4. Fluorescência da clorofila 'a' como indicador de seletividade de herbicidas

O mesofilo foliar é o tecido fotossinteticamente mais ativo das plantas superiores e é rico em pigmentos fotossintéticos, clorofila "a", clorofila "b" e carotenoides. Esses pigmentos têm por função absorver a energia luminosa que será convertida à energia química no processo fotossintético (Stirbet, 2011).

A cadeia transportadora de elétrons é constituída principalmente pelos fotossistemas I (PSI) e II (PSII) e neles estão localizadas as moléculas de clorofilas (Pribil et al., 2014).

Uma vez que a energia é absorvida na forma de fótons, as moléculas de clorofila alteram suas configurações eletrônicas, migrando do estado basal (Cló a) para o estado excitado (Cló a^*). No entanto, esse estado é instável e de curta duração. Para retornar ao estado basal, a molécula de clorofila excitada deve dissipar energia na forma de calor, fluorescência e reações químicas (Taiz et al., 2014).

A dissipação fotoquímica (Ph) consiste na utilização da energia luminosa para a realização de processos fotoquímicos na fotossíntese e conferindo ganhos em massa seca. Neste caso, ocorrerá a doação de elétron oriundo da molécula de água para a nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato - NADP⁺. A fluorescência (F) consiste na emissão de luz no comprimento de onda mais longo, radiação nos comprimentos de onda, vermelho e vermelho distante. A dissipação não-fotoquímica (D) consiste na produção de calor na forma de radiação infravermelha (Maxwell e Johnson, 2000).

Apesar de não gerarem ganhos em massa seca, a fluorescência e a dissipação não-fotoquímica são mecanismos fundamentais na dissipação de energia luminosa não utilizada no processo fotossintético. No caso da inibição fotossintética, esses mecanismos serão sobrecarregados como forma de tolerância ao estresse imposto, resultando em um desequilíbrio metabólico. Uma vez que esses três processos competem entre si (Ph+F+D), alterações na

emissão de calor ou nas taxas fotossintéticas resultarão em alterações na fluorescência. Deste modo, investigações de alterações na fluorescência emitida pela clorofila *a* podem ser indicativos da ausência ou a presença de comprometimentos no processo fotossintético (Dai et al., 2009; Kalaji et al., 2014; Maxwell e Johnson, 2000).

Com o intuito de investigar possíveis estresses causados por fitotoxidez aos herbicidas, pode-se avaliar a eficiência fotoquímica do fotossistema II (FS II), que é calculada através dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a*. Isso é possível uma vez que há um consenso que o FS II pode ser afetado por estresse causado pela aplicação de herbicidas. Neste caso, os principais parâmetros levantados nas avaliações de fluorescência da clorofila *a* são: fluorescência mínima (F_a), fluorescência máxima - F_m , fluorescência variável- F_v , rendimento quântico máximo do FSII - F_v/F_m , *quenching* fotoquímico - q_p e *quenching* não-fotoquímico - q_N (Bolhar- Nordenkampf et al., 1989; Bussotti et al., 2010; Ouzounidou et al., 1997; Pandey et al., 1999; Silvestre et al., 2014).

Os equipamentos que detectam a fluorescência fundamentam-se na aplicação e pulsos de luz moduladas para excitar as moléculas de clorofila dos centros de reação em uma região específica de tecido foliar, o qual deve previamente ser alocado no escuro. A fluorescência medida sob aplicação de baixa intensidade de luz (luz teste ou de medição) corresponde à fluorescência mínima ou inicial- F_0 e equivale a fluorescência da clorofila *a* emitida quando todos os centros de reação estão oxidados. A fluorescência máxima (F_m) é medida a partir da aplicação de um pulso de luz saturante (acima de $2.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$), que é considerado capaz de reduzir todos os centros de reação e indica a completa redução da plastoquinona A (Q_A) (Force et al., 2003; Krause e Weis, 1991; Ripley et al., 2004; Stirbet, 2011)

Além disso, o uso de equipamentos como o fluorímetro modulado auxilia no levantamento de outros parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, como por exemplo a fluorescência variável (F_v), que é a distância entre F_m e F_a e representa o fluxo de elétrons do centro de reação do FSII até a plastohidroquinona (PQH_2); rendimento quântico máximo do FSII obtido pela relação F_v/F_m , e indica a máxima capacidade fotoquímica do FSII (convencionado na faixa de 0,75 à 0,85 para plantas com o aparelho fotossintético saudável); *quenching* fotoquímico (q_P), medida que indica o estado de oxidação

da Q_A , uma vez que sua reoxidação causa "extinção" fotoquímica; *quenching* não-fotoquímico (qN), medida—que agrupa os processos de “extinção” não relacionados ao qP e rendimento quântico efetivo do FSII (ϕ FSII), obtido pela relação entre $\Delta F/F_m$, onde ΔF calcula a diferença entre a variação da fluorescência máxima e fluorescência no estado de equilíbrio, e indica fluorescência máxima de um tecido vegetal adaptado a qualquer intensidade luminosa, refletindo o quantitativo de elétrons do FSII que serão utilizados na etapa fotoquímica da fotossíntese para a redução do $NADP^+$ (Bolhar-Nordenkampf et al., 1989; Krause e Weis, 1991; Schreiber et al., 1986; Silva et al., 2006).

Segundo Hendry e Price (1993) oscilações na taxa de clorofila e de carotenoides são bons indicadores de estresse em plantas superiores (fluorescência baseada na clorofila a). Deste modo, o estudo da fluorescência da clorofila a pode ser utilizado como um indicador de estresse em plantas tratadas com herbicidas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada no município de Campos dos Goytacazes – RJ, latitude Sul 21°45' 41,72" e longitude Oeste 41°17'12,68".

No decorrer do experimento foi realizado o monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar com auxílio de *datalogger* modelo RHT10 da *Extech Instruments*, programado para leitura a cada hora. Foram registradas as médias de umidade relativa máxima de 95%, média de 74% e mínima de 37%, aproximadamente. Os valores médios de temperatura obtidos foram 36°C máxima, 25°C média e 18°C mínima, aproximadamente.

4.1. Delineamento e execução experimental

O experimento foi implantado em julho de 2020, em bloco casualizado com quatro repetições, utilizando vasos de 10 L, os quais foram preenchidos com mistura de terra de barranco, esterco bovino curtido e areia, na proporção 2:1:1 (v/v). A mistura foi peneirada e homogeneizada antes do preenchimento dos vasos.

O teor de umidade do vaso foi mantido próximo à capacidade de campo do substrato formado com irrigações diárias. Após o preenchimento dos vasos foi realizada correção do pH da mistura, sendo a dosagem calculada pelo método de saturação de bases baseando-se nos dados obtidos pela análise química da

amostra de solo (quadro 1). O calcário utilizado possuía PRNT de 80%, 33,5% de CaO e 10,1% de MgO e foi incorporado manualmente à mistura. Após o fim das análises, foi aplicado nitrogênio (sulfato de amônia) conforme as recomendações para cultura do milho comum proposta pelo Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro, com N em cobertura (Freire, 2013).

Quadro 1. Características químicas da amostra da mistura utilizada nos vasos.

Identificação	pH	P*	K*	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	C	MO	SB	T	t	m	V	Fe	Cu	Zn	Mn
	água	mg dm ³		Cmolc dm ³					%	g dm ³	Cmolc dm ³			%	mg dm ³				
01	5,2	12	152	1,6	0,7	0,12	2,94	0,13	1,04	17,9	2,8	5,8	2,9	4,1	48,9	41,8	0,3	2,1	4,1

Após a preparação dos vasos, foi arranjado um esquema fatorial 4x4 em delineamento de blocos casualizados com quatro blocos. No fator 1 foram utilizadas sementes de quatro genótipos, sendo uma variedade de polinização aberta UENF 14 e três híbridos (UENF 03, UENF HS02 e UENF UEM 01) com duas plantas por parcela. Para o fator 2 foram aplicados quatro tratamentos (testemunha; atrazina (Aclamado BR®- 2500 g ha⁻¹ i.a.); tembotriona (Soberan® - 100,8 g ha⁻¹ i.a.); atrazina+ S-metolachlor (Primestra Gold® -1665 g ha⁻¹ i.a. + 1305 g ha⁻¹ i.a.)), totalizando 64 vasos.

As aplicações dos herbicidas foram realizadas nas plantas quando elas alcançaram o estágio de quatro folhas totalmente expandidas (V4- 15 dias). Para as aplicações, foi utilizado um pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com bico tipo leque 11002 e à 50 cm da superfície do vaso. Velocidade do vento, umidade relativa, temperatura e velocidade do aplicador foram aproximadamente 1,2 m.s⁻¹, 69%, 22°C e 1,125 m.s⁻¹, respectivamente, gastando um volume de calda de 100 L ha⁻¹.

4.2. Avaliações

4.2.1. Avaliações Fisiológicas

Assim como as avaliações biométricas, aos quatro, 12, 19, 26 e 45 dias após a aplicação dos tratamentos foram avaliadas as seguintes características: fluorescência da clorofila *a*, índice de clorofila (SPAD) e a fitointoxicação da cultura.

Para análise de fitointoxicação da cultura foi utilizada escala *European Weed Research Community* (EWRC), a qual varia de 1 a 9 (Camargo, 1974), observada na tabela 1. Nesta análise, foram compreendidas as seguintes características: descoloração e deformação das folhas, redução de crescimento, amarelecimento, necrose e morte das plantas.

Tabela 1. Índice de avaliação e descrição de fitointoxicação EWRC (Camargo, 1974)

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

As avaliações de fluorescência da clorofila *a* foram feitas com o auxílio de fluorímetro modulado (Pocket PEA- *Plant Efficiency Analyser*, Hansatech Instruments, Inglaterra) e, subsequentemente, os dados foram processados de acordo com o JIP_{test} .

Previamente às análises de fluorescência, as folhas permaneceram acondicionadas no escuro por um período de 30 minutos, com o intuito da promoção da completa oxidação dos componentes do sistema de transporte de elétrons (Q_a oxidada). A adaptação foi realizada numa área circular do limbo foliar, medindo cerca de quatro milímetros de diâmetro, através de um sistema de janela que permite a sua abertura quando da medição, ou fechamento para adaptação ao escuro.

O JIP_{test} , teste baseado na leitura de sinais de clorofila fornecendo informações detalhadas sobre a estrutura e funções do aparelho fotossintético, principalmente PSII, foi realizado com base nos dados obtidos a partir dos dados da cinética rápida da emissão da fluorescência pelo fotossistema II (PSII) em relação ao tempo por meio do *software Pocket PEA®* (Antal e Rubin, 2008). Foram aferidas a fluorescência inicial (F_0), a fluorescência máxima (F_m) e a fluorescência variável (F_v). Após o levantamento dos valores de F_v e F_m , foi calculada a relação F_v/F_m que indica o rendimento quântico máximo do fotossistema II. Além disso, também foram mensurados os valores de “*Performance Index*” (PI_{total}). Trata-se de uma variável multiparamétrica que é composta por três componentes: absorção do fóton (RC/ABS); eficiência de captura do fóton pelos centros de reação (F_v/F_0) e eficiência no transporte de elétrons ($ET/TR-ET$); e PI_{abs} que representa o índice de desempenho para conservação de energia desde os elétrons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do intersistema. A indução da fluorescência foi realizada após a adaptação da parte da folha no escuro, através de um único pulso forte de luz de $1s^{-1}$ ($3500 \mu mol m^{-2}s^{-1}$), que foi aplicado com o auxílio de emissores de luz (650 nm) (Strasser e Tsimilli-Michael, 2001; Strasser et al., 2004).

Aos 30 dias após a aplicação dos herbicidas, foram realizadas avaliações da fluorescência antes do amanhecer às 5h, às 9h e 12h. O índice de coloração de verde foi feito com a utilização de um medidor portátil de clorofila modelo SPAD-502 (SPAD-502, Minolta Corp., Ramsey, Japão).

4.2.2. Avaliações de biométricas

A fim de avaliar o crescimento das plantas aos quatro, 12, 19, 26 e 45 dias após a aplicação dos tratamentos, foi determinado o diâmetro do colmo (mm), com auxílio de paquímetro digital; a altura (cm); a largura da folha no terço médio (cm); e o comprimento da nervura central (cm) com auxílio de régua graduada. Ao fim do experimento, todas as espigas produzidas foram coletadas e debulhadas para medição do rendimento de grãos (RG) em g.vaso⁻¹.

4.2.3. Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, com o objetivo de avaliar se há normalidade e homocedasticidade dos erros. Quando necessária transformação para os dados quantitativos, foi adotada transformação log (x) para os dados que não aderiram à distribuição normal e, para os dados qualitativos, foi adotada a transformação \sqrt{x} .

Subsequentemente, os dados foram submetidos à análise de variância pelo *Software R* (R CORE TEAM, 2017). As variáveis quantitativas foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. As variáveis qualitativas foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.

Complementar às análises descritas, foi realizada análise de componentes principais (ACP) objetivando reduzir a massa de dados e determinar se é possível dividir e agrupá-los em componentes principais não relacionados entre si (Ferreira, 2011; Hongyu, 2015), o tempo não foi um fator.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos na análise de componentes principais demonstraram que não há padrão de agrupamento para as variáveis analisadas ao longo do tempo em razão dos tratamentos 'genótipos x herbicidas' adotados. Assim, não foi possível reduzir a massa de dados dos quais aqui serão discutidos seguindo a ordem cronológica de obtenção e separados em parâmetros fisiológicos e parâmetros biométricos.

5.1. Parâmetros Fisiológicos

Os dados obtidos para variável escala de fitointoxicação ERWC (Camargo, 1974) foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) e não foi encontrada diferença significativa em nenhuma das épocas avaliadas. Ou seja, nenhum dos tratamentos aplicados proporcionou diferença significativa visual da testemunha.

Na avaliação realizada aos 4 dias após aplicação dos tratamentos, não houve diferença significativa nas fontes de variação herbicida e interação herbicida vs. genótipo, segundo teste F, para nenhuma variável analisada (Tabela 2). No entanto, dentre as variáveis analisadas na fonte de variação genótipo foi encontrada diferença significativa apenas para variável índice de verde (Figura 1).

Tabela 2. Resumo do quadro de análise de variância aos quatro dias após aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis eficiência fotoquímica (Fv/Fm), índice de performance na base de absorção (PI_{abs}), índice fotossintético (PI_{total}), fluorescência mínima (F₀) e índice de verde (valores de SPAD)

FV	GL	Quadrados Médios				
		Fv/Fm	PI _{abs}	PI _{total}	F ₀	SPAD
Bloco	3	51,5352	50,38475	50,74948	20,23371	58,6626
Herbicida (H)	3	41,2362	60,39708	40,39912	30,75731	31,9911
Genótipo (G)	3	61,91711	41,30521	60,7896	61,2121	43,855*
H*G	9	20,89307	20,92166	31,088	51,05181	21,909
Resíduo	45	0,0065592	53,140943	48,751656	0,091931	358,55
Total	63	0,0097809	70,33037	65,659399	0,124772	842,24
CV (%)		1,52	24,34	36,13	1,31	9,48

*Significativo a 5% de erro no teste F.

Conforme apresentado na tabela 2, não houve efeito do herbicida ou efeito da interação genótipo e herbicidas aos quatro dias após a aplicação dos tratamentos para as variáveis testadas. Isso indica a incapacidade dessas fontes de variação afetarem os parâmetros fisiológicos a esse ponto da avaliação.

Os coeficientes de variação foram inferiores a 10% para as variáveis SPAD, F₀ e Fv/Fm, e superiores a 20% e 30% para as variáveis PI_{abs} e PI_{total}, respectivamente. Segundo Gomes (1990), os coeficientes de variação obtidos em experimentos agrícolas são considerados baixos quando inferiores a 10%, médios quando variam de 10% a 20%, altos quando entre de 20% a 30% e, muito alto quando superiores a 30%. Desta forma, em termos de estabelecimento de protocolos para avaliação de possíveis danos causados por herbicidas ao milho pipoca, variáveis com coeficiente de variação alto e muito alto podem ser contraindicadas para avaliações precoces.

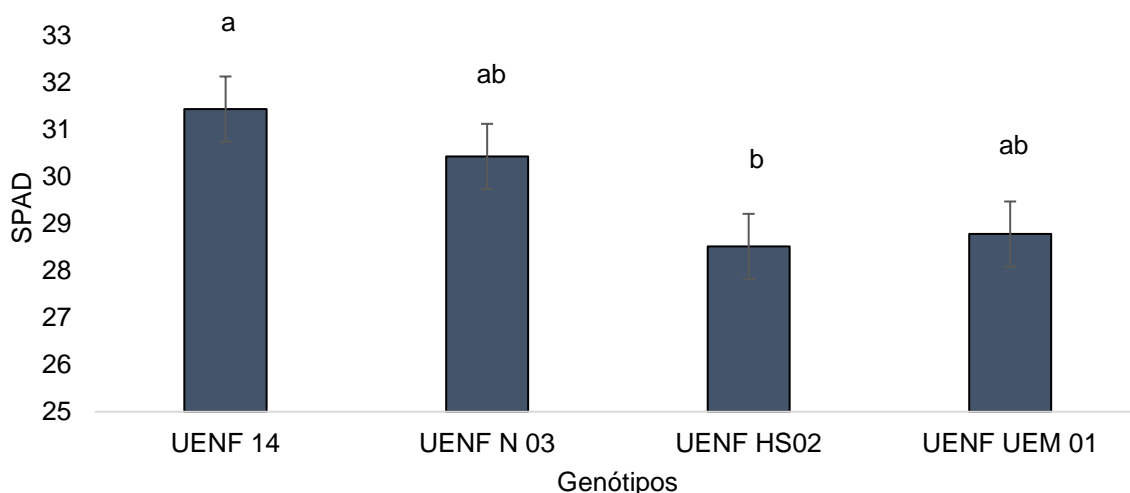


Figura 1. Índice de verde (SPAD) para os diferentes genótipos de milho pipoca aos quatro dias após aplicação dos herbicidas. Barras representam erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve uma variação no índice de verde para os diferentes genótipos testados, onde é possível observar que o genótipo UENF HS02 obteve um índice inferior ao genótipo UENF 14. Todavia, ambos não obtiveram médias distinguíveis dos genótipos UENF UEM 01 e UENF N 03, segundo teste de Tukey à 5%. O índice SPAD pode ser utilizado como uma maneira indireta de avaliar teores de nitrogênio em plantas, em função da existência de correlação positiva entre a intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de nitrogênio na planta (Amarante et al., 2010; da Costa Sapucay et al., 2020). Considerando que as plantas foram submetidas às mesmas condições experimentais, nesse momento de avaliação o genótipo UENF 14 obteve maior valor de SPAD 3,21 % superior ao genótipo UENF N 03 e 8,46% superior ao genótipo UENF UEM 01. No entanto, o maior índice de verde no genótipo UENF 14 não proporcionou aumento da eficiência fotoquímica (F_v/F_m) e demais parâmetros fisiológicos avaliados.

Aos 12 dias após a aplicação dos tratamentos, as avaliações foram repetidas e não foi encontrada diferença significativa nas fontes de variação herbicida e interação herbicida vs. genótipo segundo teste F para os parâmetros analisados (Tabela 2). Na fonte de variação genótipo, foi detectada diferença significativa para o índice de verde que foi submetido ao teste Tukey a 5%

(Tabela 3). É possível observar uma variação no comportamento dos genótipos em relação ao índice de verde quando comparados à avaliação anterior (Figura 2).

Tabela 3. Resumo do quadro de análise de variância aos 12 dias após aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis eficiência fotoquímica (Fv/Fm), índice de performance na base de absorção (PI_{abs}), índice fotossintético (PI_{total}), fluorescência mínima (F₀) e índice de verde (valores de SPAD)

FV	GL	Quadrados Médios				
		Fv/Fm	PI abs	PI total	F ₀	SPAD
Bloco	3	21,3927	50,38475	50,74948	60,52649	20,7802
Herbicida (H)	3	61,2853	60,39708	40,39912	41,22376	52,06
Genótipo (G)	3	32,3054	41,30521	60,7896	31,05247	65,2777 *
H*G	9	51,058	20,92166	31,088	51,45535	41,835
Resíduo	45	0,0032742	53,140943	48,751656	58,52763	0,062835
Total	63	0,0050548	70,33037	65,659399	86,49904	0,119902
CV (%)		8,67	24,34	36,13	8,44	2,44

*Significativo a 5% de erro no teste F.

Não houve efeito de herbicida nem da interação genótipo e herbicida sobre as variáveis analisadas aos 12 dias após a aplicação dos tratamentos. As variáveis fisiológicas, a este ponto do experimento, assim como a avaliação anterior, foram influenciadas apenas pelos diferentes genótipos. Isso pode ser um indicativo de que todos os herbicidas, posteriormente, podem vir a ser indicados para os genótipos avaliados, uma vez que não influíram sobre as variáveis como fonte de variação, sozinho ou combinado com os genótipos.

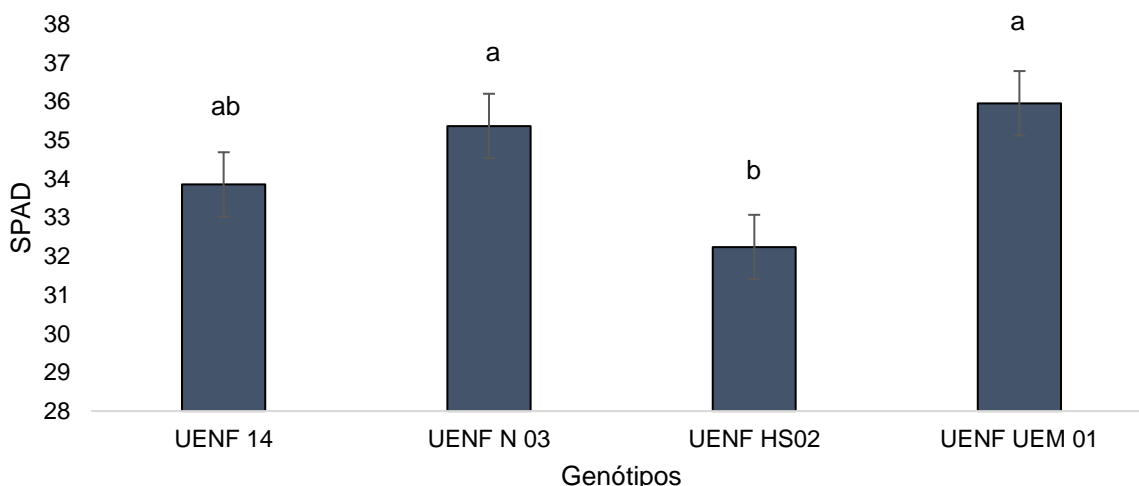


Figura 2. Índice de verde (SPAD) para os diferentes genótipos de milho pipoca aos 12 dias após aplicação dos herbicidas. Barras representam erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os genótipos UENF UEM 01 e UENF N 03 apresentaram melhor performance para esta variável que o genótipo UENF HS02, e nenhum deles apresentou performance diferente do genótipo UENF 14 (Figura 2). A resposta diferencial entre genótipos sem o acompanhamento das demais variáveis fisiológicas testadas pode indicar apenas uma diferença intrínseca do genótipo sem prejuízos à fotossíntese (Ribeiro et al., 2012).

Tabela 4. Resumo do quadro de análise de variância aos 19 dias após aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis eficiência fotoquímica (Fv/Fm), índice de performance na base de absorção (PI_{abs}), índice fotossintético (PI_{total}), fluorescência mínima (F₀) e índice de verde (valores de SPAD)

FV	GL	Quadrados Médios				
		Fv/Fm	PI abs	PI total	F ₀	SPAD
Bloco	3	32,2291	31,57357	30,49392	40,6355	31,1262
Herbicida (H)	3	43,6703 *	40,50848	20,48071	35,8606 *	63,2762
Genótipo (G)	3	50,7084	60,73562	61,19287	50,6532	52,6735 *
H*G	9	60,7779	50,68445	40,71471	20,2382	42,4315
Resíduo	45	0,0051808	59,877437	94,900634	31,496	0,092919
Total	63	0,0082691	79,321755	12,217903	48,009	0,181938
CV (%)	-	1,36	54,6	34,8	9,73	2,94

*Significativo a 5% de erro no teste F.

Na avaliação realizada aos 19 dias após a aplicação dos tratamentos, foi encontrada diferença significativa para a eficiência fotoquímica (F_v/F_m) e fluorescência mínima (F_0) dentro da fonte de variação herbicida. Houve interação entre os tratamentos para variável SPAD (Tabela 4)

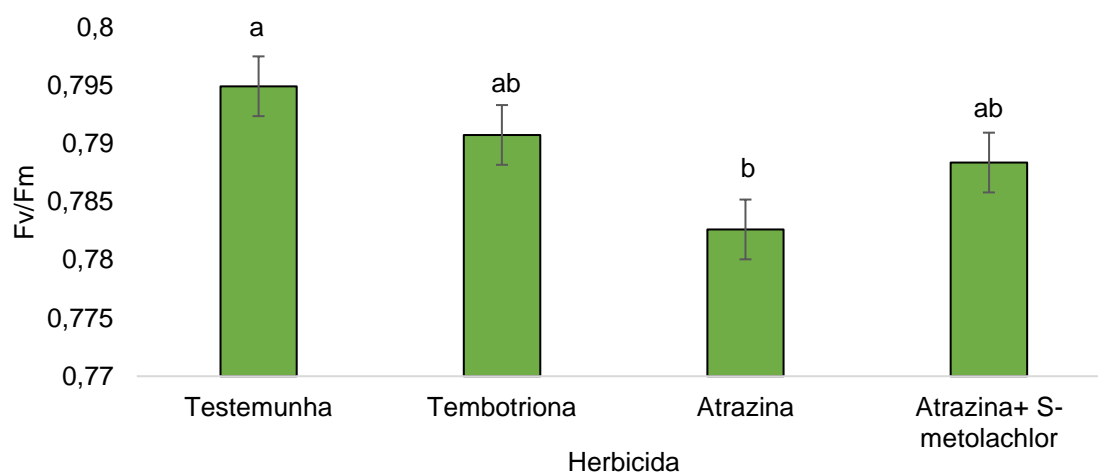


Figura 3. Eficiência fotoquímica (F_v/F_m) para os diferentes herbicidas aos 19 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Aos 19 dias após a aplicação houve resposta significativa para a variável F_v/F_m em função dos herbicidas testados (Figura 3). É possível observar que o herbicida Atrazina provocou uma redução significativa do F_v/F_m em relação à testemunha e ambos não diferiram dos demais herbicidas. Alterações na eficiência fotoquímica (F_v/F_m) indicam dano ao aparelho fotossintético. No entanto, a fotoinibição é deflagrada quando são registrados valores da relação F_v/F_m abaixo de 0,75 (Araújo e Deminicis, 2009). Neste caso, apesar da detecção de diferença estatística, o valor obtido 0,7826 não indica prejuízo permanente à atividade do FSII. Desta forma, isoladamente, esse resultado não deve ser indicado como único parâmetro para a contra-indicação do uso de Atrazina para os diferentes genótipos testados. O coeficiente de variação obtido a 1,36 % demonstra baixa dispersão dos dados.

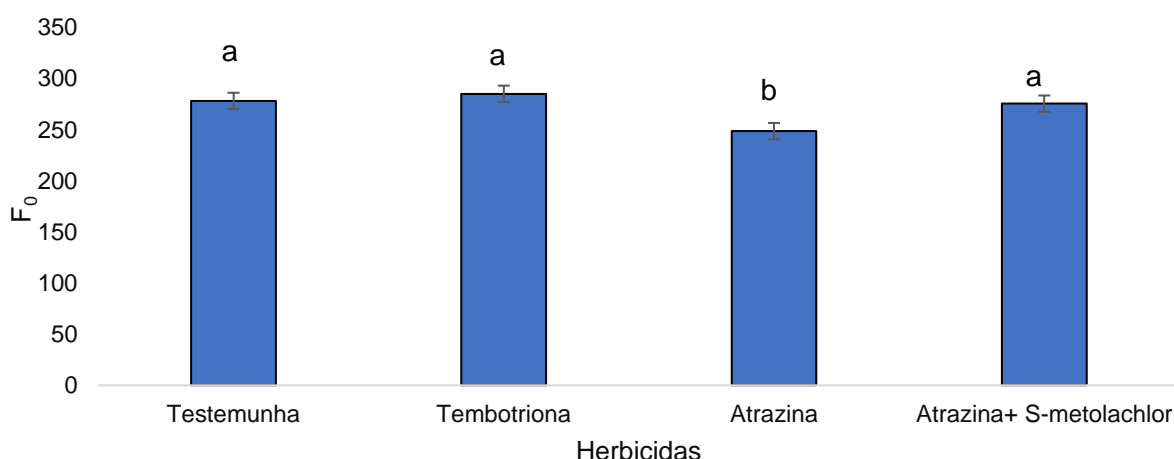


Figura 4. Fluorescência mínima (F_0) e para os diferentes herbicidas aos 19 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O herbicida Atrazina obteve menor valor para a fluorescência mínima (F_0) em relação aos demais tratamentos (Figura 4). Esse valor representa a emissão de luz pelas moléculas de clorofila *a* excitadas antes da dissipação de energia para o centro de reação do FSII (Mathis e Paillotin, 1981). F_0 pode ser aumentada ou diminuída perante estresses ambientais, podendo aumentar na ocorrência de comprometimento dos centros de reação do FSII ou comprometimento da transferência de energia da antena para os centros de reação (Bolhàr-Nordenkampf et al., 1989). Temperaturas abaixo da ideal podem causar diminuição significativa aos valores de F_0 , e temperaturas acima da ótima podem causar o efeito contrário em plantas (Adams e Perkins, 1993).

Silva (2019), avaliando estresses causados por herbicidas em genótipos de milho geneticamente modificados, verificou sinais de estresse quando houve aumento dos valores de F_0 em relação à testemunha para os diferentes herbicidas testados.

Nos dados apresentados (Figura 4) é possível observar uma diminuição causada pelo herbicida Atrazina em relação à testemunha de 10,62% dos valores de F_0 , independentemente do genótipo avaliado. Apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas, os herbicidas Tembotriona e Atrazina+S-metolachlor apresentaram acréscimo de 2,49% e 0,97% em relação à testemunha, respectivamente.

Silva (2019), trabalhando com atrazina para genótipos geneticamente modificados de milho comum, não verificou prejuízo à fluorescência mínima aos sete e 14 dias após a aplicação, evidenciando um comportamento não homogêneo em relação a esta variável e sua interpretação dentro da espécie. Ou seja, apesar de demonstrar um coeficiente de variação baixo, a variável F_0 , isoladamente não parece adequada à avaliação de estresses causados por herbicidas em função da ausência de padrão de resposta.

Tabela 5. Tabela resumo da interação da fonte de variação genótipo vs. herbicida para o índice de verde (SPAD) aos 19 dias após aplicação dos herbicidas

Herbicidas	Genótipos			
	UENF N 03	UENF UEM 01	UENF 14	UENF HS02
Atrazina	32,55 bAB	37,575 aA	37,025 aAB	30,75 aB
Atrazina+ S-metolachlor	35,825 abA	34,275 aAB	29,65 bB	35,725 aA
Tembotriona	39,725 aA	39,1 aA	36,1 aA	34,175 aA
Testemunha	38,475 abA	36,35 aA	36,475 aA	33,975 aA

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula (linha) e minúscula (coluna) não diferiram entre si conforme teste Tukey ($p < 0,05$).

Em relação à resposta dos herbicidas sobre os valores de SPAD, Atrazina e Atrazina+S-metolachlor, contribuíram para a diminuição do índice de verde. O herbicida Atrazina contribuiu para valores menores de SPAD no genótipo UENF HS02 em relação ao genótipo UENF UEM 01. Ambos os genótipos citados não se diferenciaram da UENF 14 e UENF N 03. Para o herbicida Atrazina+S-metolachlor observa-se um valor menor de SPAD no genótipo UENF 14 em relação à UENF N 03 E UENF HS02. Os herbicidas Atrazina e Atrazina+S-metolachlor possuem atrazina em sua composição e são considerados inibidores do fotossistema II, desta forma, efeitos similares são esperados para variáveis fisiológicas. É conhecido que a adição de S-metolachlor à atrazina potencializa o efeito herbicida sobre plantas daninhas e essa substância é facilmente metabolizada pelo milho, de forma que o efeito à seletividade também é aumentado para a cultura (Fuerst,1987; Liebl,1995).

Tabela 6. Resumo do quadro de análise de variância aos 26 dias após aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis eficiência fotoquímica (Fv/Fm), índice de performance na base de absorção (PI_{abs}), índice fotossintético (PI_{total}), fluorescência mínima (F₀) e índice de verde (valores de SPAD)

FV	GL	Quadrados Médios				
		Fv/Fm	PI abs	PI total	Fo	SPAD
Bloco	3	52,1335	30,8598	31,0055	50,23594	51,8379
Herbicida (H)	3	41,0759	51,1787	60,6392	62,42609	37,1511 *
Genótipo (G)	3	65,1264 *	65,6899 *	54,5835 *	20,48149	63,3533 *
H*G	9	20,7106	20,8555	41,5962	30,71588	20,6706
Resíduo	45	0,019074	53,118433	65,247	14,477628	1332,66
Total	63	0,032384	89,575022	11,317	19,584512	2607,96
CV (%)	-	2,67	30,51	52,33	12,55	15,84

*Significativo a 5% de erro no teste F.

Na avaliação realizada aos 26 dias após a aplicação dos tratamentos, foi encontrada diferença significativa para a eficiência fotoquímica (Fv/Fm), PI_{abs} e PI_{total} dentro da fonte de variação genótipo e pra SPAD dentro da fonte de variação genótipo e herbicida, individualmente. Não houve interação entre os tratamentos para as variáveis avaliadas (Tabela 6).

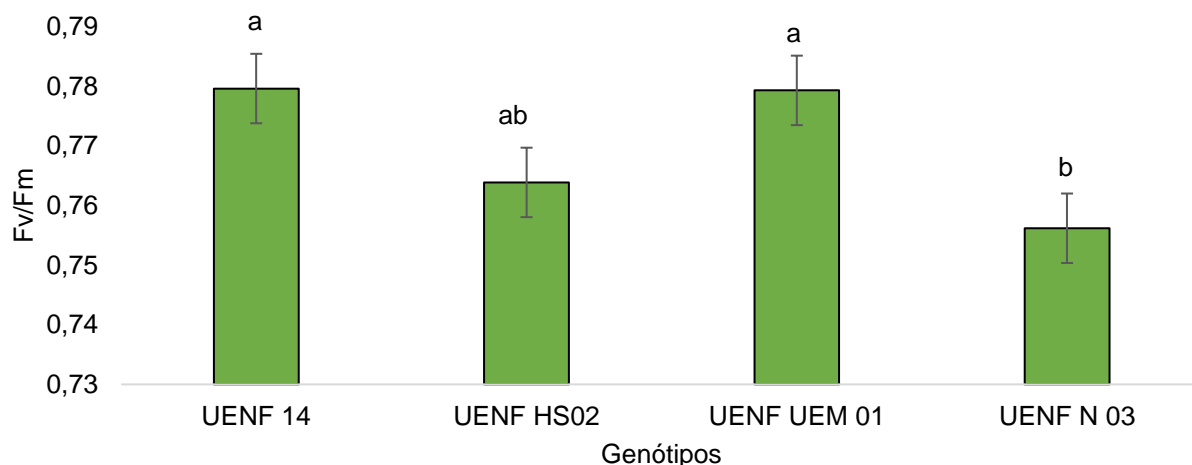


Figura 5. Eficiência fotoquímica (Fv/Fm) para os diferentes genótipos aos 26 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação a eficiência fotoquímica (Fv/Fm) aos 26 dias após a aplicação dos herbicidas foi observado um menor valor para o genótipo UENF N 03 em relação aos genótipos UENF 14 e UENF HS02. No entanto, assim como para a época de avaliação anterior, nenhum valor abaixo de 0,75 foi encontrado (Araújo e Deminiciis, 2009). Isso indica que apesar de encontrada uma diferença significativa em termos práticos, a eficiência fotoquímica encontrada ainda está dentro do patamar considerado bom. Esse padrão não foi observado nas épocas de avaliação anteriores, podendo tratar-se de uma resposta genotípica diferencial às condições experimentais neste período.

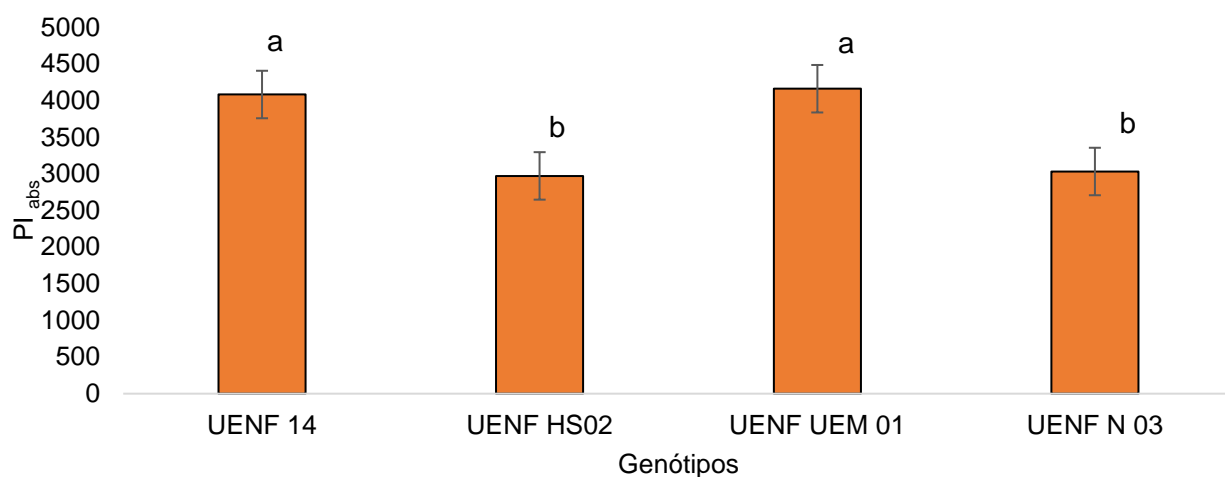


Figura 6. Índice de performance na base de absorção (PI abs) para os diferentes genótipos aos 26 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Uma resposta similar é observada para os índices PI_{abs} e PI_{total} (Figura 6 e 7) onde é observada uma resposta diferencial apenas para genótipos nesta época de avaliação. Analisando conjuntamente as variáveis Fv/Fm (Figura 5), PI_{abs} (Figura 6), e PI_{total} (Figura 7), o genótipo UENF N 03 é classificado com menores valores. No entanto, essa tendência não é repetida para herbicidas, tão pouco contribui para efeitos de interação, uma vez que não há significância estatística para essas variáveis dentro das fontes de variação citadas.

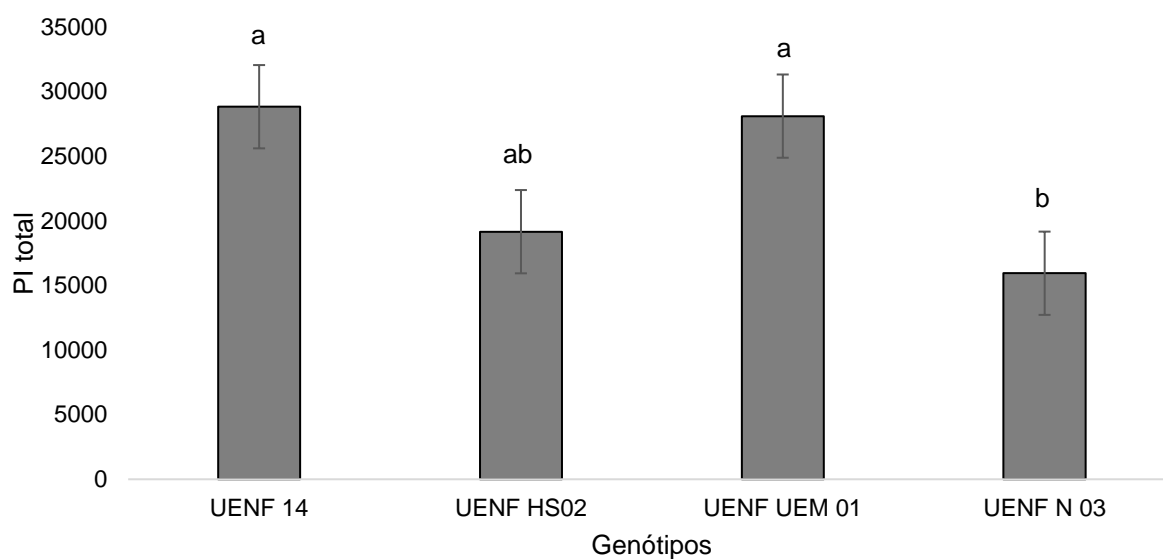


Figura 7. Índice fotossintético (PI total) para os diferentes genótipos aos 26 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ensaio clássico na cultura do milho demonstram que através de avaliações não destrutivas podem-se associar valores de índice de verde com o teor de nitrogênio nas folhas. De forma geral, quanto maior o valor de SPAD obtido, maior é a concentração de N nas folhas e maior será a produtividade esperada. Piekielek e Fox (1992) demonstraram que leituras de valores SPAD no estágio de seis folhas estão correlacionadas à resposta do rendimento de grãos à aplicação de N em cobertura. Já Sunderman et al. (1997) demonstraram que medições realizadas durante estágios avançados como floração e granação, foram capazes de prever mais eficientemente o rendimento de grãos.

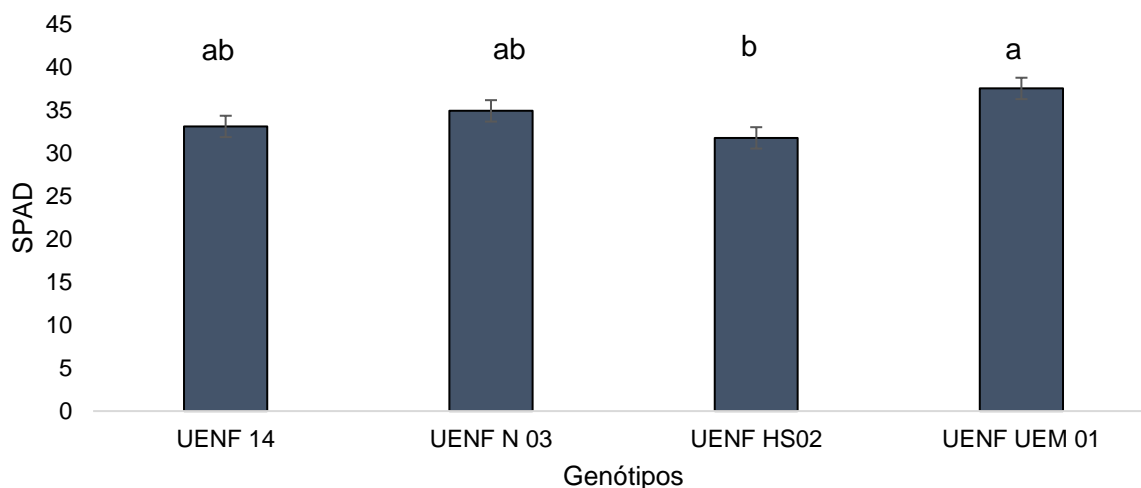


Figura 8. Índice de verde (SPAD) para os diferentes genótipos aos 26 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Aos 26 dias após a aplicação dos herbicidas é possível observar que o genótipo UENF HS02 apresentou menor valor de SPAD em relação ao UENF UEM 01. Segatto et al (2017), estudando híbridos de milho (DKB 240 e 290), demonstraram que medidas realizadas no clorofilômetro correlacionaram-se positivamente e significativamente com o rendimento obtido. Esses mesmos autores relataram que leituras realizadas no equipamento podem substituir precisamente determinações destrutivas de teor de clorofila.

As variáveis obtidas nas avaliações aos 30 dias foram representadas esquematicamente em histogramas (Figuras 9, 10, 11 e 12).

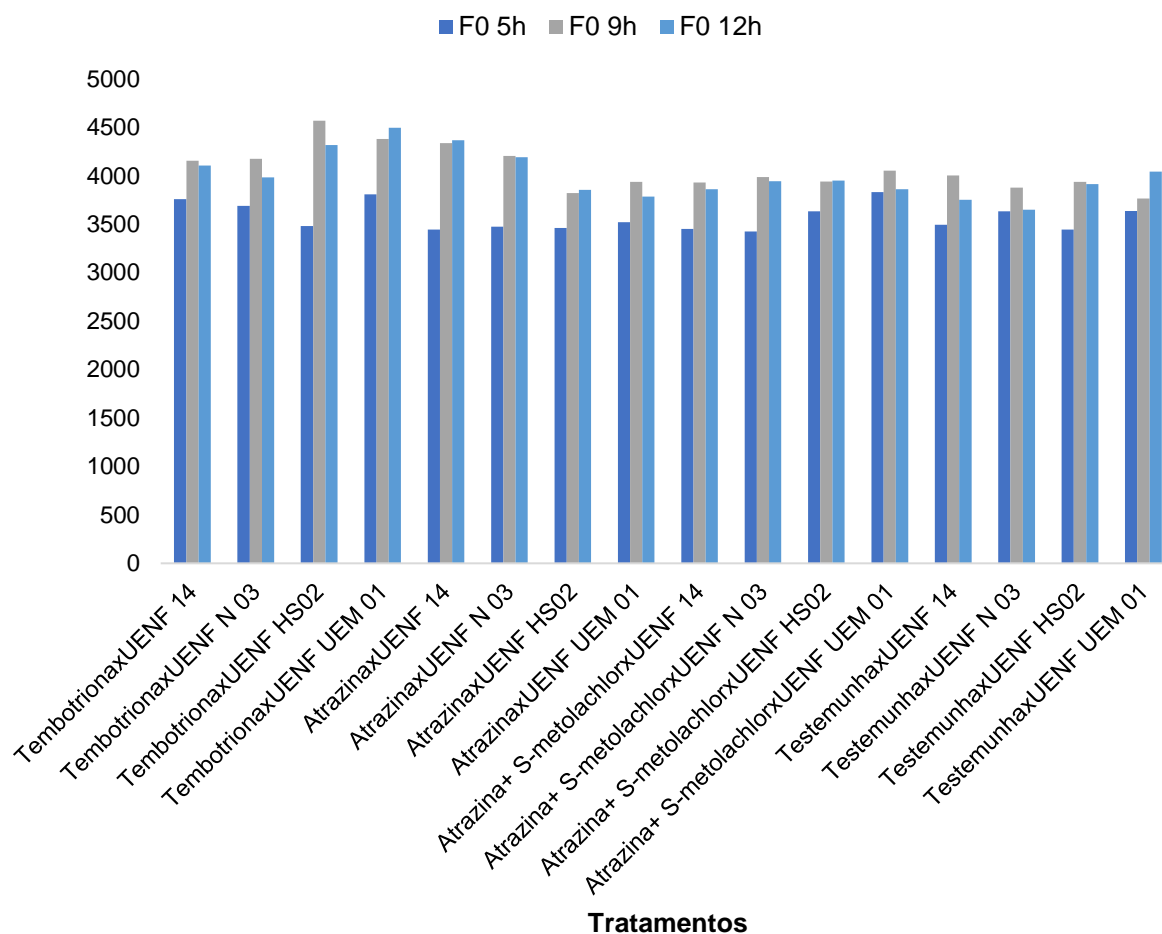


Figura 9. Histograma representativo da fluorescência mínima (F_0) medida no escuro (5h), meia luz (9 h) e em plena luz (12 h), aos 30 dias após aplicação dos herbicidas.

Para fluorescência mínima, observa-se pouca diferença na magnitude de valores das medidas realizadas à meia luz e em plena luz. Isso é um indicativo que a energia requerida para um ótimo de fluorescência mínima foi atingida à meia luz para os diferentes tratamentos avaliados (Figura 9).

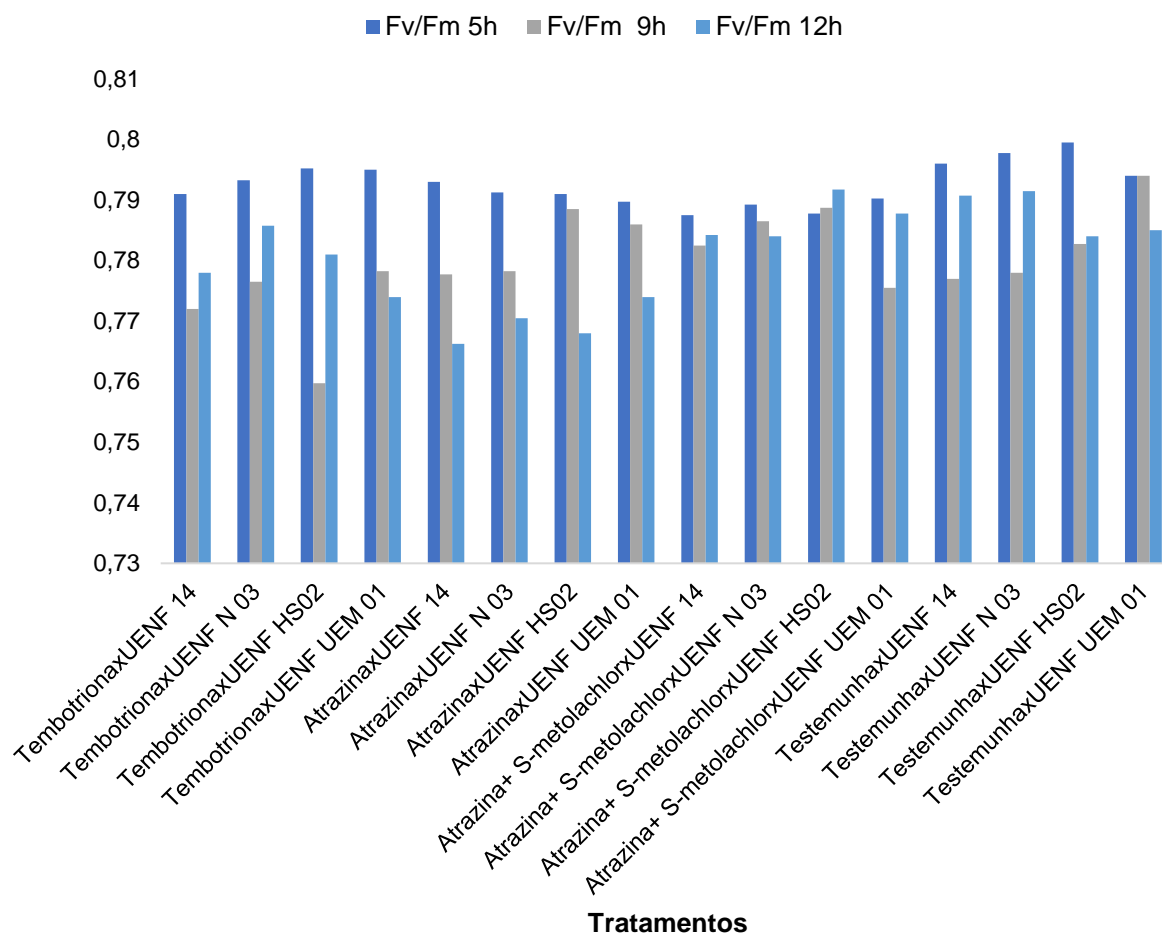


Figura 10. Histograma representativo da eficiência fotoquímica (Fv/Fm) medida no escuro (5h), meia luz (9 h) e em plena luz (12 h), aos 30 dias após aplicação dos herbicidas.

Ao contrário do observado para a fluorescência mínima, não ocorre um comportamento padrão para a eficiência fotoquímica entre as medidas feitas em meia luz e as medidas feitas em plena luz. Apesar da diferença visual observada entre os horários de 9h e 12h no tratamento 'Tembotriona x UENF HS02' o aumento foi de apenas 2,56% e ambos valores foram acima de 0,75, o que é considerado satisfatório (Araújo e Deminiciis, 2009).

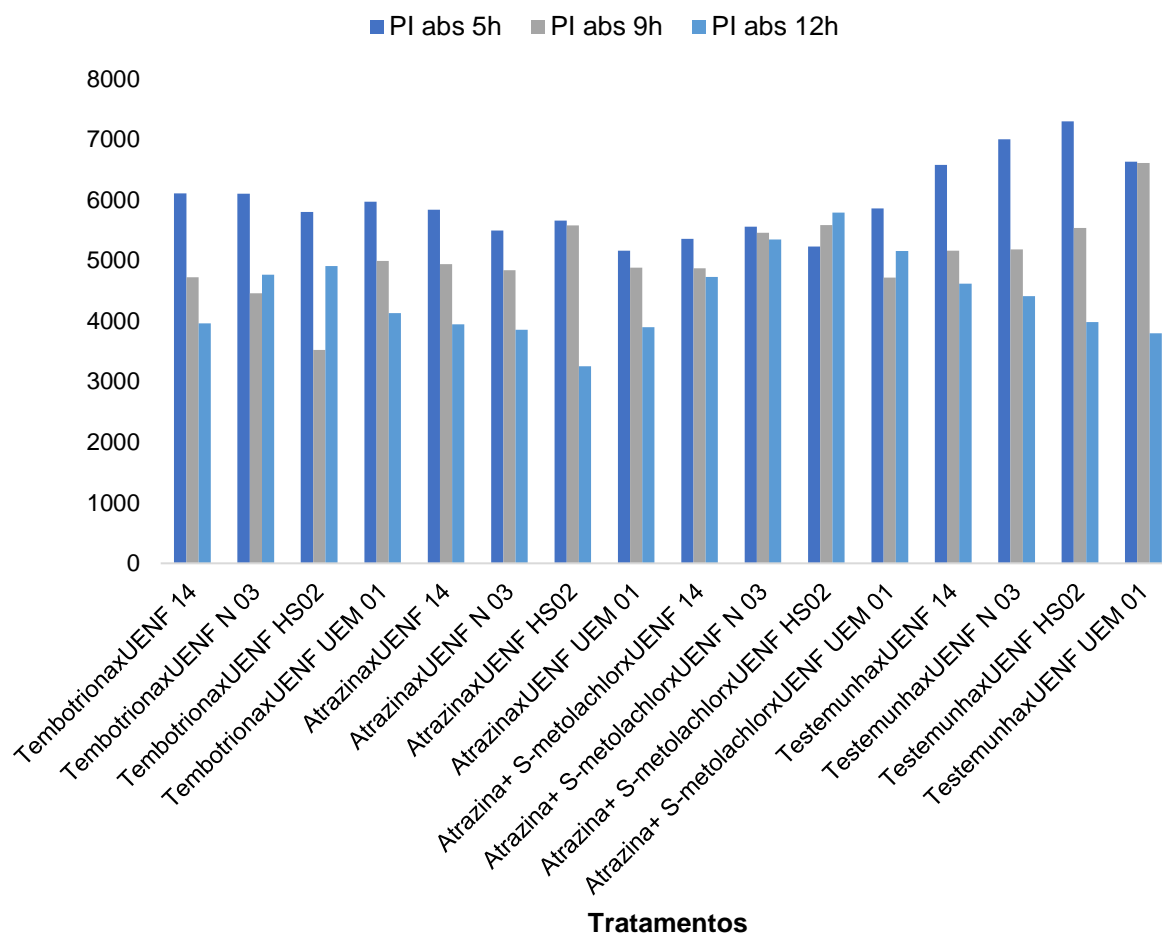


Figura 11. Histograma representativo do índice de performance na base de absorção (PI_{abs}) medido no escuro (5h), meia luz (9 h) e em plena luz (12 h) aos 30 dias após aplicação dos herbicidas.

Tratando-se PI_{abs} de um índice de performance, é possível observar que para os tratamentos 'Testemunha x Genótipos' obtém-se uma diferença acentuada da variável entre os horários de 5h e 12h e essa diferença é menor para os tratamentos onde os genótipos receberam herbicidas. Essa discrepância indica que ocorre uma diminuição do índice de performance inicial para tratamentos que receberam herbicidas, contudo, essa diferença é atenuada ao longo do dia pela fotoinibição (Gonçalves et al., 2010).

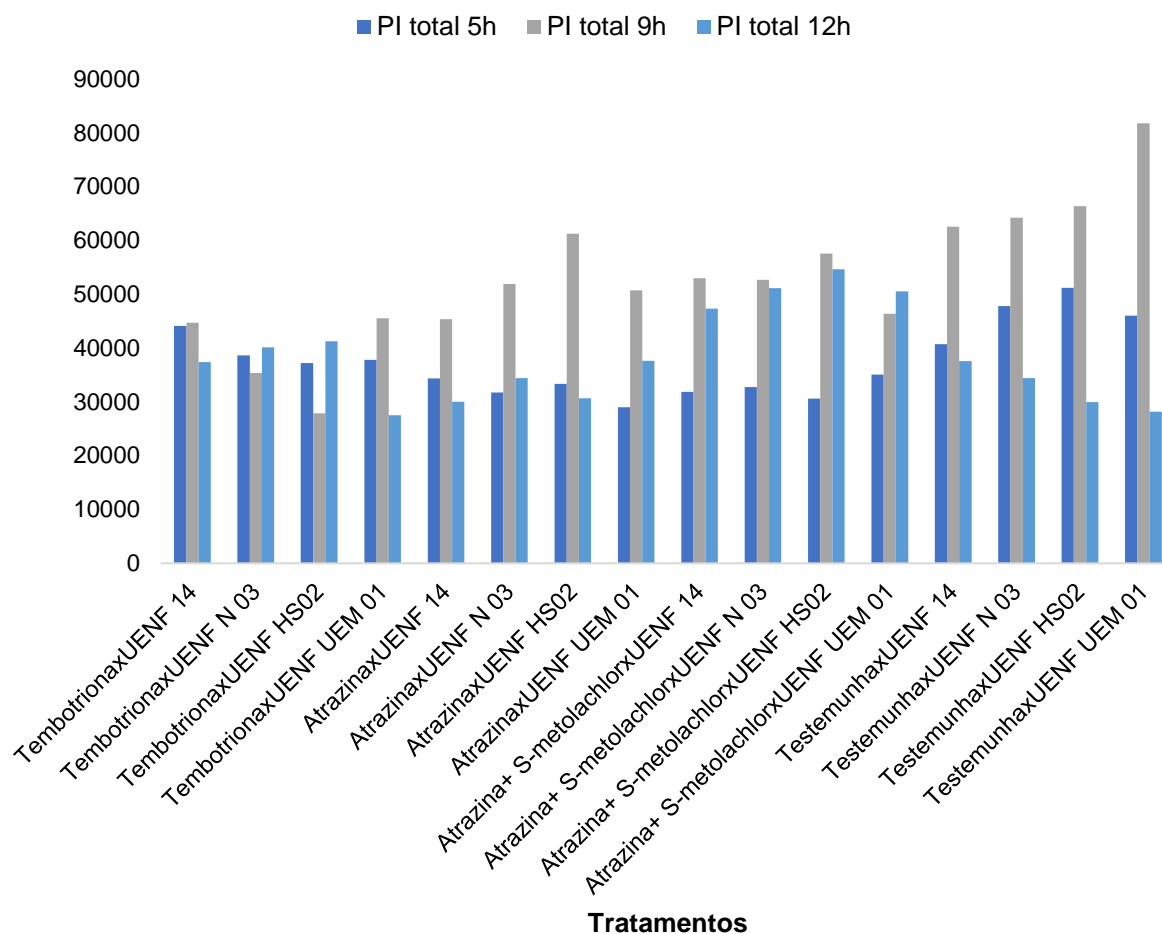


Figura 12. Histograma representativo do índice fotossintético (PI_{total}) medido no escuro (5h), meia luz (9 h) e em plena luz (12 h) aos 30 dias após aplicação dos herbicidas.

As medidas do índice fotossintético total em sua grande maioria obtiveram maiores valores no horário de 9h da manhã, indicando um ótimo de luz para a máxima performance fotossintética. No entanto, não é possível observar esse comportamento para os tratamentos 'Tembotriona x UENF N 03' e 'Tembotriona x HS02', onde esse comportamento é invertido entre os horários de 9h e 12h em relação aos tratamentos testemunhas. Apesar da inversão, a magnitude é mantida, levando a crer que apesar da interferência do herbicida sobre os genótipos a diferença é compensada ao longo do dia.

Tabela 7. Resumo do quadro de análise de variância aos 45 dias após aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis eficiência fotoquímica (Fv/Fm), índice de performance na base de absorção (PI_{abs}), índice fotossintético (PI_{total}), fluorescência mínima (F₀) e índice de verde (valores de SPAD)

FV	GL	Quadrados Médios				
		Fv/Fm	PI abs	PI total	Fo	SPAD
Bloco	3	62,247	52,929	31,0026	51,6498	411,166
Herbicida (H)	3	52,0611	64,9867	52,8806 *	29,7320	25,1223 *
Genótipo (G)	3	31,4039	27,313	62,8988 *	10,19,62	61,9734
H*G	9	41,8274	42,5378 *	41,3742	3,9740	51,4852
Resíduo	45	0,0104696	86,789658	69,648	69,9648	1630,6
Total	63	0,018283	21,895398	22,52	135,5168	4100,2
CV (%)		1,97	40,47	10,49	12,03	18,23

*Significativo a 5% de erro no teste F

Na avaliação realizada aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos, foi encontrada diferença significativa para PI_{total} dentro da fonte de variação genótipo e herbicida separadamente, e pra SPAD dentro da fonte de variação herbicida. Houve interação entre os fatores para variável PI_{abs} (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da interação da fonte de variação genótipo vs. herbicida para índice de performance na base de absorção (PI_{abs}) aos 45 dias após aplicação dos tratamentos

HERBICIDAS	GENÓTIPOS			
	UENF N 03	UENF UEM 01	UENF 14	UENF HS02
Atrazina	3530,5 aAB	3193,75 aB	5818,25 aA	3319,5 aAB
Atrazina+S-metolachlor	2296,75 aA	2804,5 aA	3014,9625 bA	2710,5 aA
Tembotriona	1957,25 aB	3741,25 aB	7096 aA	4104,75 aB
Testemunha	2210,75 aA	4233 aA	2875 bA	1995,7965 aA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (linha) e minúscula (coluna) não diferiram entre si conforme teste Tukey (p<0,05).

Foi observado um comportamento bastante disperso sobre o índice de performance aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos, onde é possível observar que o genótipo UENF 14 performou melhor desempenho quando tratado

com os herbicidas Atrazina e Tembotriona em detrimento do Atrazina+S-metolachlor e testemunha. Os demais genótipos não registraram diferenças significativas com relação ao tratamento com herbicidas, e as variações de PI_{abs} entre variedades podem ter ocorrido em função de diferenças genotípicas em relação à tolerância aos herbicidas.

Golçalves et al. (2010) argumentam que PI_{abs} tem sido considerado um parâmetro mais sensível na identificação e medição de estresse em plantas do que a eficiência fotoquímica (Fv/Fm). Isso pode ocorrer em razão da relação direta da eficiência de absorção, captura e transferência de energia no fotossistema II proporcionada pela análise de PI_{abs} , gerando uma visão mais ampla do estresse causado. Assim, é possível obter uma resposta ao estresse causado por herbicidas de PI_{abs} sem a obtenção de resposta em Fv/Fm que é o parâmetro usado em outros trabalhos para tal avaliação (Brito, 2017).

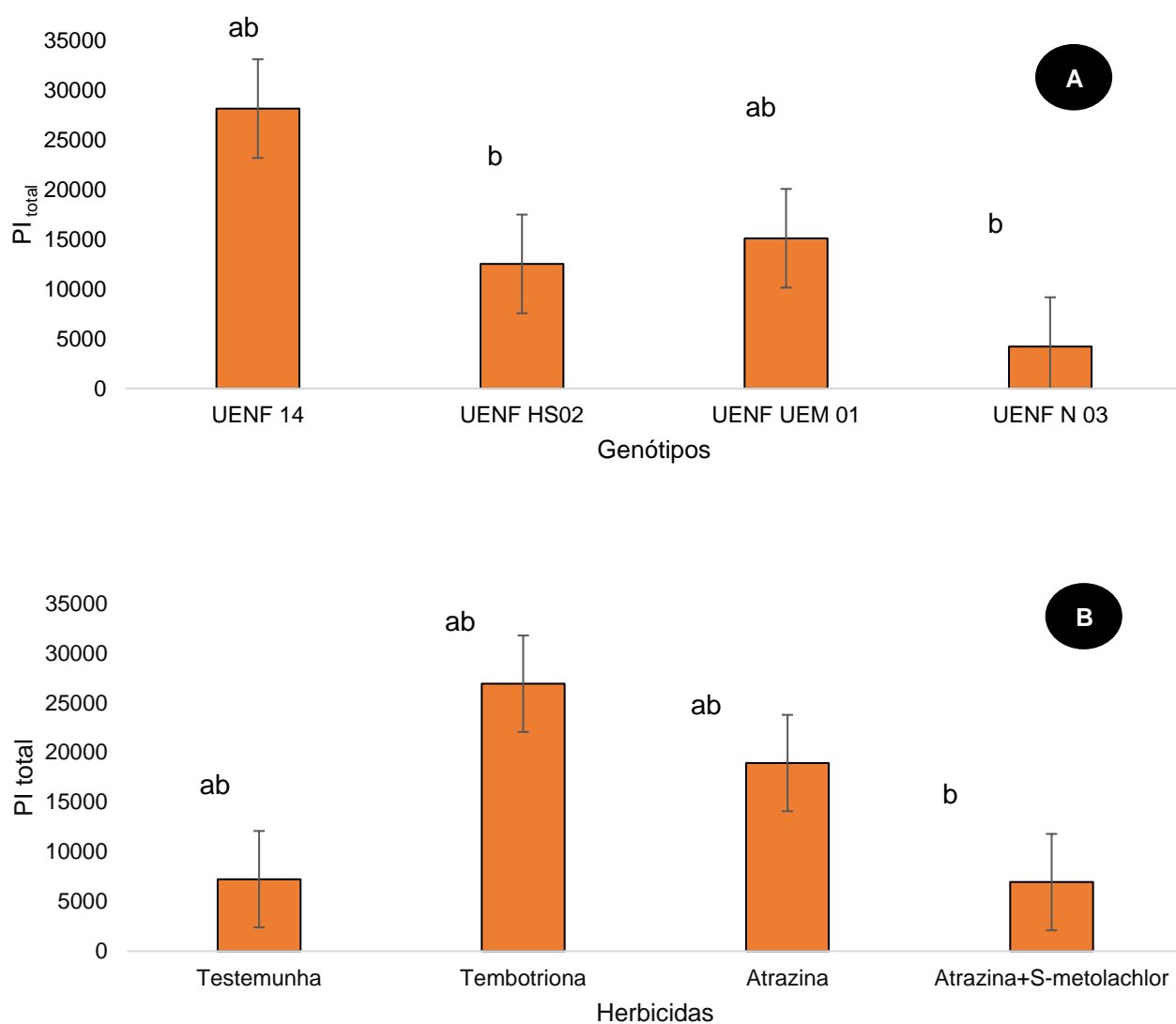


Figura 14. A - Índice fotossintético (PI_{total}) para os diferentes genótipos aos 45 dias após a aplicação. B-Índice fotossintético (PI_{total}) para os diferentes herbicidas aos 45 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os valores obtidos do índice fotossintético para genótipos demonstram que, apesar dos genótipos UENF HS02 e UENF N 03 desempenharem menores índices, não foram diferentes dos demais genótipos, segundo teste de Tukey ($p < 0,05$). Já para herbicidas, o herbicida Atrazina+S-metolachlor proporcionou

menor valor absoluto, mas não foi diferente dos demais. Apesar dos herbicidas Tembotriona e Atrazina não serem significativamente diferentes da testemunha, obtiveram um acréscimo de 271,50 % e 161,29% sobre os valores de PI_{total} a um coeficiente de variação considerado médio para ensaios agrícolas. Isso pode ser reflexo do processo de metabolização dos herbicidas no milho, onde a cada etapa são produzidos compostos menos tóxicos até a completa metabolização dos mesmos (Figura 14). Desta forma, PI_{total} assim como PI_{abs} não demonstraram ser ferramentas eficientes na detecção de possíveis danos fisiológicos causados por herbicidas (Krenchinski, 2018).

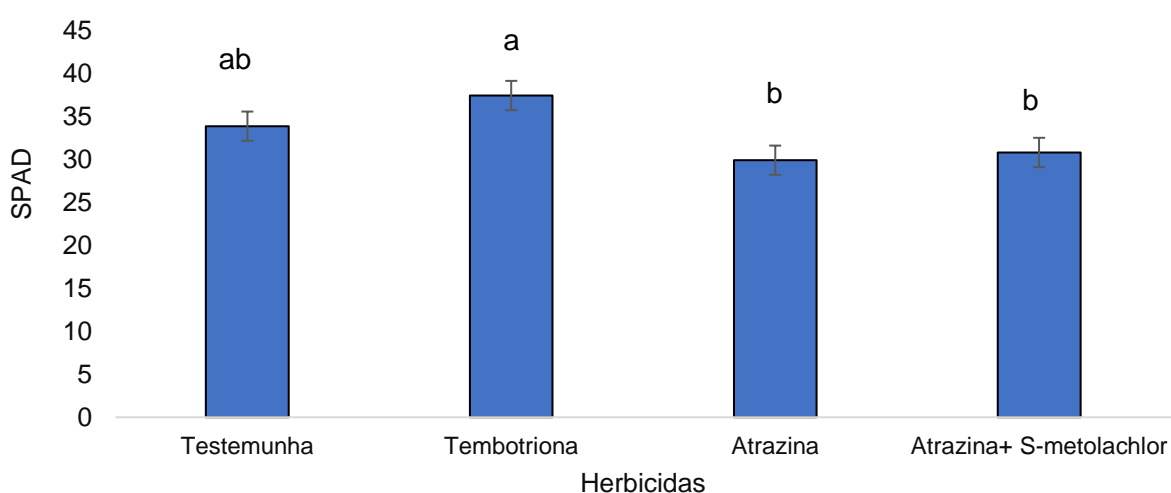


Figura 15. Índice de verde (SPAD) para os diferentes herbicidas aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os herbicidas Atrazina e Atrazina+S-metolachlor causaram maior diminuição no índice de verde em relação ao Tembotriona, mas não foram diferentes da testemunha aos 45 dias (Figura 15). Aos quatro e 12 dias após a aplicação, o índice SPAD detectou diferença significativa para genótipos (Figuras 2 e 3), aos 19 dias indicou interação entre genótipos e herbicidas, e aos 26 dias foi possível observar, individualmente, respostas para genótipos e herbicidas (Figura 4). Desta forma, o índice de verde mostrou-se sensível para os tratamentos testados e pode ser correlacionada com o teor de clorofila e

rendimento de grãos para esses, conforme já foi demonstrado na literatura para outros genótipos (Segatto et al., 2017).

5.2. Parâmetros Biométricos

Nas avaliações realizadas aos quatro dias após a aplicação dos tratamentos, foi encontrada diferença significativa para diâmetro do colmo dentro da fonte de variação herbicida, largura da folha no terço médio para fonte de variação genótipo, e comprimento da nervura central na interação genótipo vs. herbicida, segundo teste F. A altura das plantas não foi afetada pelo genótipo nem pelos herbicidas adotados (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo do quadro de análise de variância aos quatro dias após a aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis DC - diâmetro do colmo (mm), LFTM - largura da folha no terço médio (cm), CNC - comprimento na nervura central (cm) e A - altura de plantas (cm)

FV	GL	Quadrados Médios			
		DC (mm)	LFTM (cm)	CNC (cm)	A (cm)
Bloco	3	53,051	20,2274	42,9323	30,49428
Herbicida (H)	3	64,1164 *	30,5047	54,0154	6122659
Genótipo (G)	3	20,3463	63,3134 *	64,1281	20,08805
H*G	9	30,9121	51,1954	32,5082 *	40,92337
Resíduo	45	21,164	0,2814	0,113536	0,100798
Total	63	35,626	0,42457	0,254323	0,131569
CV (%)		14,15	43,79	3,49	4,04

*Significativo a 5% de erro no teste F

Os coeficientes de variação para as variáveis comprimento da nervura central e altura de plantas foram menores que 5%, podendo ser considerados baixos. Com relação aos coeficientes obtidos para diâmetro do colmo e largura da folha no terço médio, os coeficientes de variação podem ser classificados como médio e alto, respectivamente (Gomes, 1990).

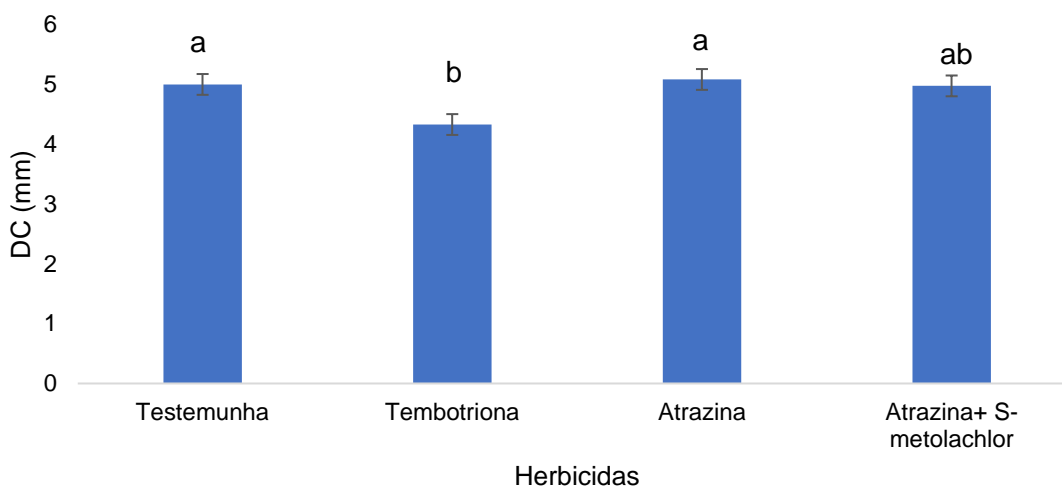


Figura 16. Diâmetro do colmo (cm) para os diferentes herbicidas aos quatro dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O herbicida Tembotriona provocou um menor diâmetro do colmo para os diferentes genótipos avaliados em relação à testemunha e o herbicida Atrazina (Figura 16). No entanto, essa diferença não foi estatisticamente detectada em relação ao herbicida Atrazina+S-metolachlor. Avaliações do diâmetro do colmo de plantas de milho pipoca são importantes, pois o mesmo, de maneira geral, sofre com acamamento, podendo comprometer completamente a produção final da cultura (Ribeiro et al., 2012; Lima et al., 2016).

Freitas et al. (2014), trabalhando com os herbicidas atrazina, mesotriona, nicosulfuron, s-metolachlor e tembotriona aplicado em diferentes genótipos de milho pipoca, verificaram que apesar de os sintomas visuais serem perceptíveis, os mesmos desapareciam 30 dias após a aplicação. No entanto, levando-se em conta a facilidade de acamamento da cultura e que os genótipos testados foram desenvolvidos para o norte fluminense onde existe a ocorrência de ventos fortes, plantas tratadas com Tembotriona estão em desvantagem em relação às demais, mesmo que uma recuperação do diâmetro do colmo seja esperada.

Aos quatro dias após a aplicação dos tratamentos, o milho encontrava-se com seis folhas completamente expandidas. Entre os estádios V5 e V8, algumas características importantes à produtividade do milho comum são definidas em função dos aspectos de crescimento das plantas, como o número de fileiras por

espigas, por exemplo (Fancelli et al., 2000). Desta forma, torna-se interessante em pesquisas posteriores relacionar parâmetros biométricos, como o diâmetro do colmo, com parâmetros de produção em função dos tratamentos com herbicidas.

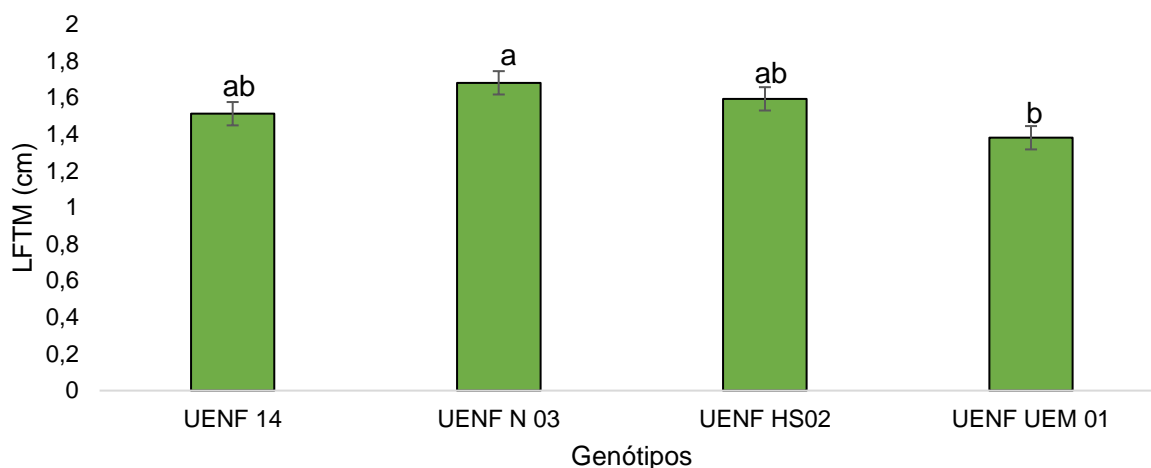


Figura 17. Largura da folha no terço médio (cm) para os diferentes genótipos aos quatro dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para largura da folha no terço médio, o genótipo UENF N 03 foi superior ao UENF UEM 01 com uma diferença de 0,3 cm e ambos não diferiram estatisticamente dos demais (Figura 17). Essa variável é importante, pois se trata de um caractere morfoanatômico, o qual possibilita conjuntamente com outros caracteres o estabelecimento matemático das dimensões da folha. Genótipos com folhas mais largas levam vantagem no estabelecimento da cultura em relação às plantas daninhas e outros genótipos de milho por competirem pelos fatores de produção luz e espaço vital. Assim, aplicações de herbicidas pós-emergentes em plantas com vantagem no estabelecimento da cultura tendem a ser mais bem sucedidas, pois englobam eficientemente dois pilares do controle de plantas daninhas: o controle químico e cultural (Oliveira Jr et al., 2011; Swanton e Weise, 1991).

Tabela 10. Resumo da interação da fonte de variação genótipo vs. herbicida para comprimento da CNC -nervura central (cm) aos quatro dias após aplicação dos tratamentos

HERBICIDAS	GENÓTIPOS			
	UENF N 03	UENF UEM 01	UENF 14	UENF HS02
Atrazina	26,675 aA	29,025 aA	27,475 aA	29,675 aA
Atrazina+S-metolachlor	24,65 aB	29,925 aAB	30,6 aA	30,4 aA
Tembotriona	24 aAB	26,575 aAB	21,95 bB	29,55 aA
Testemunha	29,075 aA	24,95 aA	29,175 aA	29,15 aA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (linha) e minúscula (coluna) não diferiram entre si conforme teste Tukey ($p < 0,05$).

Com relação ao comprimento da nervura central, o herbicida Tembotriona provocou diminuição dessa característica, quando comparado aos outros herbicidas, sendo que o genótipo UENF 14 apresentou o menor valor absoluto no comprimento da nervura central, no entanto, não foi estatisticamente diferente do 'UENF UEM 01 x Tembotriona' e 'UENF N 03 x Tembotriona' (Tabela 10). Assim como a largura da folha no terço médio, o comprimento da nervura central trata-se de um caractere morfoanatômico, o qual pode ser associado com caracteres da produção final. A uma mesma largura de folha, quanto maior o comprimento da nervura central maior será a área foliar fotossinteticamente ativa do genótipo e menor será a luminosidade dentro do dossel da cultura, dificultando o estabelecimento de plantas daninhas. No entanto, o aumento da área foliar pode ser delicado em outros aspectos. Assim como a área útil, a fotossíntese é aumentada, e a área de transpiração também é aumentada, sendo que em eventos de déficit hídrico, genótipos com maior comprimento de nervura central podem usar a água de forma ineficiente (Kamphorst, 2020). Além disso, outros tratamentos culturais visando à diminuição da competição com plantas daninhas podem ser dificultados como o adensamento da cultura.

Tabela 11. Resumo do quadro de análise de variância aos 12 dias após a aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis DC- diâmetro do colmo (mm), LFTM - largura da folha no terço médio (cm), CNC - comprimento na nervura central (cm) e A - altura de plantas (cm)

FV	GL	Quadrados Médios			
		DC (mm)	LFTM (cm)	CNC (cm)	A (cm)
Bloco	3	61,67801	20,1018	60,5936	42,32012
Herbicida (H)	3	20,20605	52,5609	41,072	32,16041
Genótipo (G)	3	51,61144	63,6133 *	310,5221 *	21,95331
H*G	9	30,92832	30,3291	51,7831	50,83822
Resíduo	45	65,355	0,091182	636,68	2415,4
Total	63	92,718	0,135335	1381,05	3856,4
CV (%)		15,03	24,01	12,03	21,48

*Significativo a 5% de erro no teste F

Aos 12 dias após aplicação dos tratamentos foi encontrada diferença significativa para as variáveis largura da folha no terço médio e comprimento da nervura central dentro da fonte de variação genótipo (Tabela 11).

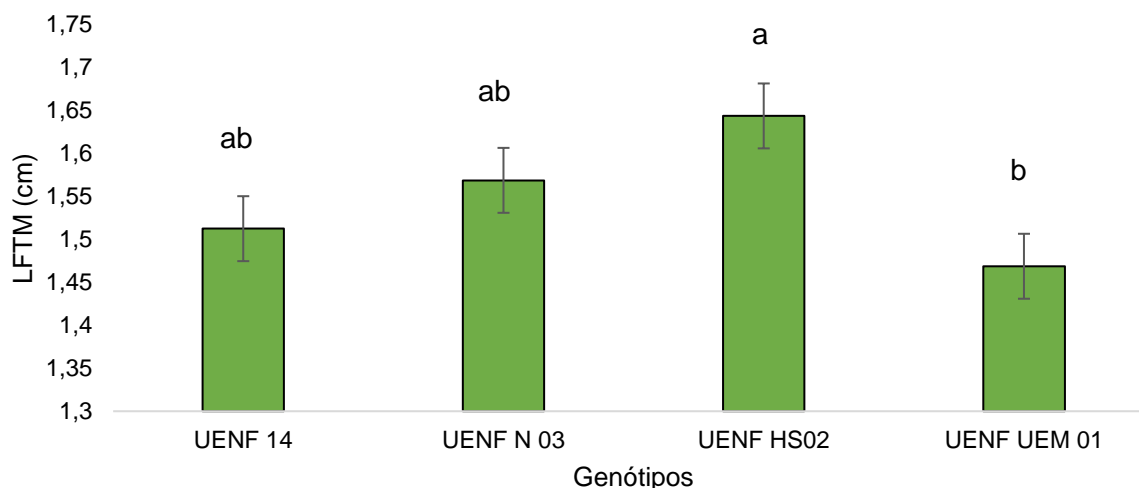


Figura 18. Largura da folha no terço médio (cm) para os diferentes genótipos aos 12 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Não houve diferença estatística na variável largura da folha no terço médio (cm) para os diferentes genótipos aos 12 dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 18). E, quando comparada à avaliação anterior (Figura 17), onde o genótipo UENF N 03 foi superior ao genótipo UENF UEM 01 e ambos não diferiram dos demais, a ausência de diferenças estatísticas nesse momento é um forte indício de recuperação do UENF UEM 01 em relação aos demais dessa característica.

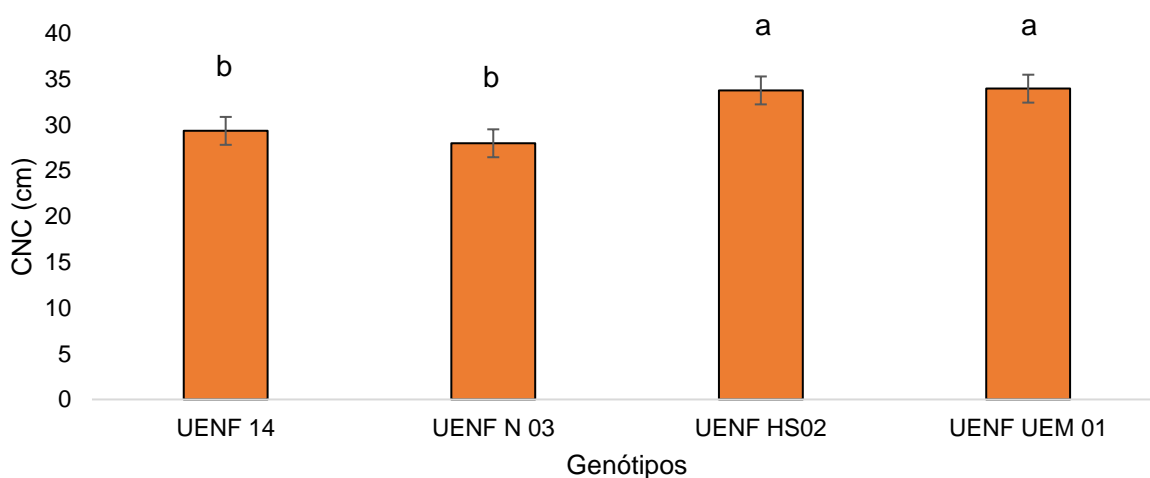


Figura 19. Comprimento da nervura central (cm) para os diferentes genótipos aos 12 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na segunda avaliação do comprimento da nervura central é possível estabelecer um claro contraponto entre os genótipos UENF HS 02 e UENF UEM 01 que obtiveram resultados superiores aos genótipos UENF 14 e UENF N 03 (Figura 19). E, ao contrário da avaliação anterior, esse resultado não sofre influência da ação dos herbicidas, podendo tratar-se apenas de uma variação do crescimento das plantas para cada genótipo.

Tabela 12. Resumo do quadro de análise de variância aos 19 dias após a aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis DC - diâmetro do colmo (mm), LFTM -largura da folha no terço médio (cm), CNC- comprimento na nervura central (cm) e A- altura de plantas (cm)

FV	GL	Quadrados Médios			
		DC (mm)	LFTM (cm)	CNC (cm)	A (cm)
Bloco	3	511,3664	61,15795	20,51631	61,10607
Herbicida (H)	3	61,2813	30,61294	30,09949	21,59659
Genótipo (G)	3	20,047	20,2192	51,26369	30,33959
H*G	9	30,7049	51,04637	61,75507	40,51372
Resíduo	45	232,42	0,2899	1592,44	3790,1
Total	63	461,88	0,38903	2350,94	4948,2
CV (%)		16,87	31,66	16,4	20,47

*Significativo a 5% de erro no teste F

Aos 19 e 26 dias após aplicação dos tratamentos não foi encontrada diferença significativa para nenhuma das variáveis testadas (Tabelas 12 e 13). Ou seja, não houve influência pela fonte de variação genótipo, herbicidas ou interação de ambos.

Tabela 13. Resumo do quadro de análise aos 26 dias após a aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis DC- diâmetro do colmo (mm), LFTM - largura da folha no terço médio (cm), CNC comprimento na nervura central (cm) e A - altura de plantas (cm)

FV	GL	Quadrados Médios			
		DC (mm)	LFTM (cm)	CNC (cm)	A (cm)
Bloco	3	50,73171	40,98268	42,6831	56,8782
Herbicida (H)	3	32,35872	30,78582	50,29572	22,1956
Genótipo (G)	3	20,1949	20,37611	60,52289	32,242
H*G	9	40,60764	61,47966	31,27416	40,5155
Resíduo	45	337,68	18,7633	4642,8	4347,8
Total	63	452,67	26,9986	6909,8	8076
CV (%)		18,73	13,06	13,53	15,69

*Significativo a 5% de erro no teste F

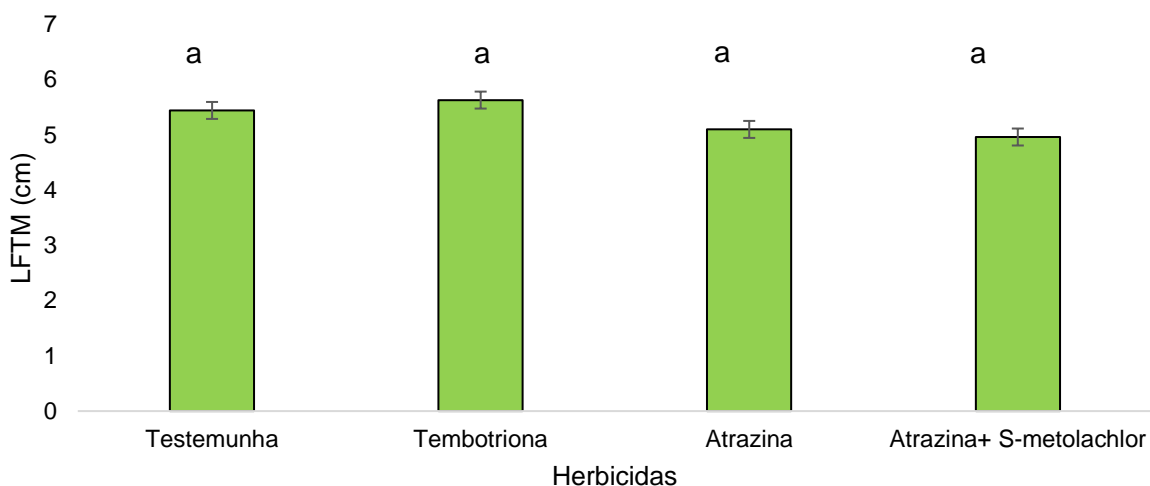


Figura 20. Largura da folha no terço médio (cm) para os diferentes herbicidas aos 45 dias após a aplicação. Barras representam o erro padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos foi encontrada diferença significativa para largura da folha no terço médio dentro da fonte de variação herbicida (Tabela 14). Apesar do resultado encontrado segundo teste F ($p < 0,05$), quando submetido ao teste de médias de Tukey ($p < 0,05$), não foi encontrada diferença estatística entre as médias dos genótipos.

Tabela 14. Resumo do quadro de análise aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos. Quadrados médios das variáveis DC -diâmetro do colmo (mm), LFTM largura da folha no terço médio (cm), CNC - comprimento na nervura central (cm) e A - altura de plantas (cm)

FV	GL	Quadrados Médios			
		DC (cm)	LFTM (cm)	CNC (cm)	A (cm)
Bloco	3	51,4976	52,37098	50,36904	25,4111
Herbicida	3	20,44782	62,99126 *	21,32819	51,1833
Genótipo	3	62,14022	41,74658	40,27125	61,7866
H*G	9	41,21607	20,51456	30,24126	30,5589
Resíduo	45	7	23	3,475	19,280
Total	63	10	36	4,099	32,208
CV (%)		32,72	13,45	10,31	16,35

*Significativo a 5% de erro no teste F

Após a coleta do experimento, foi identificada resposta significativa da variável rendimento de grãos dentro da fonte de variação genótipos vs. herbicidas (Tabela 15).

Tabela 15. Resumo do quadro de análise após a colheita do experimento. Quadrados médios da variável rendimento de grãos (g.vaso⁻¹)

	Fontes de Variação						CV (%)
	Bloco	Herbicida (H)	Genótipo (G)	H*G	Resíduo	Total	
Graus de Liberdade	3	3	3	9	45	63	-
Quadrados Médios	31,9868	65,4813	53,9727	423,57*	6,0397	13,4939	30,20%

*Significativo a 5% de erro no teste F

O rendimento de grãos foi afetado pela combinação de efeitos dos genótipos e herbicidas testados. No entanto, é possível observar que o teste Tukey ($p < 0,05$) foi pouco sensível a estas diferenças (Tabela 15). O genótipo UENF HS02 apresentou menor produtividade em relação aos demais. Sendo que, quando submetido ao herbicida Atrazina, obteve uma redução de aproximadamente 99,75% quando comparado ao tratamento com Atrazina+S-metolachlor, que obteve maior valor absoluto.

Tabela 16. Resumo da interação da fonte de variação herbicida vs. genótipo para a variável rendimento de grãos (g.vaso⁻¹)

HERBICIDAS	GENÓTIPOS			
	UENF N 03	UENF UEM 01	UENF 14	UENF HS02
Atrazina	26,6375 aA	14,6275 aA	16,9725 aA	0,1025 bB
Atrazina+ S-metolachlor	25,4125 aA	22,975 aA	27,13 aA	41,14 aA
Tembotriona	27,0325 aA	29,77 aA	14,3525 aA	15,7925 aA
Testemunha	36,175 aA	37,775 aA	23,47 aA	14,325 aA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (linha) e minúscula (coluna) não diferiram entre si conforme teste Tukey ($p < 0,05$).

Apesar de não detectada diferença estatística entre 'Atrazina+S-metolachlor x UENF HS02' e 'Testemunha x UENF HS02', o primeiro é aproximadamente 65 % maior que o segundo no rendimento de grãos (Tabela 16). Ou seja, em termos absolutos, o herbicida Atrazina+S-metolachlor superou as demais combinações com o genótipo UENF HS02. Esse resultado pode ter sido obtido em função do coeficiente de variação elevado.

Outra possibilidade seria o uso de uma variedade de polinização aberta e três híbridos, os quais podem se comportar de maneira diferenciada para as variáveis analisadas e sob os tratamentos escolhidos, impactando no rendimento final de grãos. Além disso, o manejo adotado onde as plantas foram cultivadas em vasos e sob estrutura de casa de vegetação, também pode ter contribuído para o aumento do coeficiente de variação. No entanto, Freitas et al. (2014) e Brito (2017), trabalhando com seletividade de herbicidas ao milho pipoca em condições de campo, também encontraram coeficiente de variação acima do ótimo (15%), obtendo 23,10 % e 18,793%, respectivamente, reforçando a possibilidade de uma variação em razão da própria natureza dos dados.

Em função do exposto, a baixa produtividade era esperada e ocorreu com maior intensidade na combinação 'UENF HS02 x Atrazina'. O herbicida Tembotriona, que interferiu negativamente em várias outras características avaliadas, não influenciou negativamente no rendimento de grãos que é a principal norteadora na tomada de decisão acerca da seletividade de herbicidas.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada no município de Campos dos Goytacazes – RJ, latitude Sul 21°19'23" e longitude Oeste 41°19'41". Foi arranjado um esquema fatorial 4x4 em delineamento de blocos casualizados, com quatro blocos. No fator 1 foram utilizadas sementes de quatro variedades de milho pipoca (UENF 14, UENF 03, UENF HS02 e UENF UEM 01), com duas plantas por parcela. Para o fator 2 foram aplicados quatro tratamentos (testemunha, atrazina (2500 g ha⁻¹ i.a.), tembotriona (100,8 g ha⁻¹ i.a.), atrazina+ S-metolachlor (1665 g ha⁻¹ i.a. + 1305 g ha⁻¹ i.a.)). As aplicações dos herbicidas foram realizadas nas plantas quando as mesmas alcançaram o estágio de quatro folhas totalmente expandidas (V4). Aos 4, 12, 19, 26 e 45 dias após a aplicação dos tratamentos foram avaliadas a altura de plantas (cm), diâmetro do colmo (mm), largura da folha no terço médio (cm), comprimento da nervura central (cm), rendimento de grãos(g.vaso⁻¹), escala de fitotoxidez, fluorescência da clorofila *a* e índice de verde (SPAD).

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

Parâmetros fisiológicos:

- Não houve diferença significativa na escala de fitotoxidez em nenhuma das épocas avaliadas;

- Houve diferença significativa no índice de verde (SPAD) para genótipos aos 4 e 12 dias, sendo o genótipo UENF HS02 com menor valor SPAD em ambas as ocasiões;
- Herbicida Atrazina reduziu a eficiência fotoquímica (F_v/F_m) e a fluorescência mínima (F_0) para todos os genótipos em relação à testemunha aos 19 dias após aplicação dos tratamentos;
- Houve interação entre genótipos e herbicidas para o índice de verde aos 19 dias, obtendo os herbicidas Atrazina e Atrazina+S-metolachlor menores valores de SPAD;
- Houve diferença estatística para os valores de eficiência fotoquímica (F_v/F_m) entre os genótipos aos 26 dias, mas todos atingiram o valor mínimo esperado (0,75);
- Houve diferença estatística para o índice de performance (PI_{abs}) aos 26 dias, sendo UENF N 03 e UENF HS02 menores que UENF 14 e UENF UEM 01;
- O índice fotossintético (PI_{total}) foi maior para os genótipos UENF 14 e UENF UEM 01 quando comparados a UENF N 03 aos 26 dias;
- Aos 26 dias, o índice de verde foi maior para o genótipo UENF UEM 01 em relação ao UENF HS02;
- Aos 45 dias, o índice de performance (PI_{abs}) para o genótipo UENF 14 foi melhor com os herbicidas Atrazina e Tembotriona;
- O índice de verde aos 45 dias foi melhor para os herbicidas Atrazina e Atrazina+S-metolachlor quando comparados ao Tembotriona para os diferentes genótipos testados;
- O índice de performance (PI_{abs}) e índice fotossintético (PI_{total}) não se mostraram eficientes na detecção de possíveis danos fisiológicos causados por herbicidas.
- A eficiência fotoquímica (F_v/F_m) e a fluorescência mínima (F_0) foram capazes de prever mais corretamente aos 19 dias após a aplicação dos tratamentos efeitos de estresse por herbicidas que seriam posteriormente refletidos no rendimento de grãos ($g.vaso^{-1}$).

Parâmetros Biométricos:

- O herbicida Tembotriona diminuiu o diâmetro do colmo (mm) para os diferentes genótipos testados aos quatro dias após aplicação dos tratamentos;
- Houve diferença significativa da largura da folha no terço médio (cm) aos quatro dias para os genótipos, sendo UENF N 03 maior que UENF UEM 01;
- O herbicida Tembotriona reduziu o comprimento da nervura central (cm) aos quatro dias, sendo a pior combinação genótipo x herbicida 'UENF 14 x Tembotriona';
- O comprimento da nervura central (cm) aos 12 dias foi significativamente diferente para genótipos, sendo UENF HS02 e UENF UEM 01 menores que UENF 14 e UENF N 03;
- O herbicida Atrazina reduziu o rendimento de grãos e a combinação 'Atrazina x UENFHS02' obteve a pior performance;
- Fv/Fm aos 19 dias após a aplicação dos tratamentos, indicaram com mais acurácia os efeitos dos herbicidas sobre o rendimento final de grãos;
- Os herbicidas Tembotriona e Atrazina+S-metolachlor foram seletivos aos genótipos UENF 14, UENF HS02, UENF UEM 01 e UENF N 03.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, G.T., Perkins, T.D. (1993) Assessing cold tolerance in *Picea* using chlorophyll fluorescence. *Environment Experimental Botany*, 33:377-382.
- Akobundu, I.O., (1987) *Weed Science in the Tropics: principles and practices*. New York: John Wiley & Sons, 522p.
- Amarante, C.V.T., Stefens, C.A., Sangol, L., Zanardi O. Z., Miqueloto, A., Schweitzer, C. (2010) Quantificação de clorofilas em folhas de milho através de métodos ópticos não destrutivos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 9:39-50.
- Antal, T., Rubin, A. (2008) In vivo analysis of chlorophyll a fluorescence induction.
- Araújo, S.A. do C., Deminicis, B.B. (2009) Fotoinibição e fotossíntese. *Revista Brasileira de Biociências*, 7:463-472.
- Ashoton, F.M., Mônaco, T.J. (1991) *Weed science*. New York: John Wiley, 466p.
- Baker, H.C. (1974) The evolution of weeds. *Annual Rev Ecol Syst*, 5:1-24.
- Barchanska, H., Kluza, A., Krajczewska, K., Maj, J. (2016) Degradation study of mesotrione and other triketone herbicides on soils and sediments. *Journal of Soils and Sediments*, 16:125-133.
- Barroso, A., Albrecht, A.J.P., Albrecht, L.P., Villetti, H.L., Orso, G., Cavalli, D.A.L., Filho, R.V. (2014) Competição entre a cultura da soja e a planta daninha *Chloris polydactyla*. *Cerrado agrociências*, 5:82-90.
- Bayer Cropscience – Tembotriona® [Herbicida] (2017) Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/produtos/Tembotriona> em 10/10/2020 página mantida pela Bayer CropScience Brasil.

- Blake, M. (2015) *Maize for the Gods: Unearthing the 9,000-year History of Corn*. Oakland: University of California Press, p. 17-53.
- Blanco, F. M. G., Almeida, S. D. B., Matallo, M. B. (2013) Herbicide-soil interactions applied to maize crop under Brazilian conditions. *In: Price A. J., Kelton, J. A. (eds.) Herbicides – Current research and case studies in use*. Rijeka: Intech, 47-73.
- Bolhar-Nordenkamp, H.R., Long, S.P., Baker, N.R., Öquist, G., Schreider, U., Lechner, E.G. (1989) Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. *Functional Ecology*, 3:497-514.
- Brandão, M., Laca-Buendia, J.P., Mascarenhas, M.H.T, Cunha, L.H.S, Gavilanes, M.L. (1985) Plantas daninhas de controle problemático. *Inf Agropec*, 11:52-63.
- Brito, L.L.M., (2017) *Seletividade de herbicidas ao milho pipoca e eficiência no controle de plantas daninhas*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 83p.
- Bussotti, F., Desotgiu, R., Pollastrini, M., Cascio, C. (2010) The JIP test: a tool to screen the capacity of plant adaptation to climate change. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25:43-50.
- Calvayrac, C., Bontemps, N., Nougá-Bissoué, A., Romdhane, S., Coste, C.M., Cooper, J.F. (2013) Photolysis of tembotriona and its main by-products under extreme artificial conditions: comparison with another β -triketone herbicide. *Science Total Environment*. 452-453:227-232.
- Carvalho, L.B. (2013) *Herbicidas*. Lages: Edição do Autor, 62p.
- Christofolletti J. C. (1999) *Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle*. São Paulo: Teejet South América, 15p.
- Coan, M.M.D., Senhorinho, H.J.C., Pinto, R.J.B., Scapim, C.A., Tessmann, D.J., Williams, W.P., Warburton, M.L. (2018) Genome-wide association study of resistance to ear rot by in a tropical field maize and popcorn core collection. *Crop Science*. 58:1-15.
- Costa, A.C., (2018) *Desempenho de mudas de milho para produção de minimilho para manejo orgânico*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 60p.

- Costa, D. F., Vieira, B. S., Lopes, E. A., Moreira A, L. C. B. (2012) Aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares na cultura do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 11:98-105.
- Dai, Y., Shen, Z., Liu, Y., Wang, L., Hannaway, D., Lu, H. (2009) Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetragymma hemsleyanum* Diels et Gilg. *Environmental and Experimental Botany*, 65:177-182.
- Delmasquio, A.L., (2017) *Efeito de herbicidas pós-emergente em linhagens de milho pipoca*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 60p.
- Fancelli, A.L., Dourado Neto, D. (2000) Ecofisiologia e fenologia. In: Fancelli, A.L., Dourado Neto, D. (eds.) *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, p. 21-54.
- Ferreira, D.F. (2011) *Estatística Multivariada*. Lavras: UFLA, 675p.
- Flint-Garcia, S.A. (2017) *Kernel Evolution: From Teosinte to Maize*. Cabi, Oxfordshire: United Kingdom ,18p.
- Force, L., Critchley, C., Rensen, J.S.V. (2003) New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants. The effect of illumination on the fluorescence parameters of the JIP-test. *Photosynthesis Research*, 78:17-33.
- Freire, L. R. (2013) *Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro*. Editora Universidade Rural. Seropédica: Embrapa Solos, 434p.
- Freitas Júnior, S. de P., Amaral Júnior, A.T. do, Rangel, R.M., Viana, A.P., (2009) Genetic gains in popcorn by full-sib recurrent selection. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 9:1-7.
- Freitas, I.L.J., Rodrigues, W.P., Amaral Júnior A.T., Freitas, S.P., Amim, R.A., Vittorazzi, C., Freitas, J.A.A. (2014) Maximum quantum yield of photosystem II to assist in the measurement of herbicide selectivity in popcorn. *Plant Science Today*, 1:80-85.
- Freitas, I.L.J., Rodrigues, W.P., Freitas, S.P., Freitas, J.A.A., Amim, R.T., Amaral Junior, A.T.A, Campostrini, E. (2016) Physiological aspects of corn plants related to mesotrione herbicide selectivity. *Australian Journal of Crop Science*, 10:1158-1163.
- Fuerst E.P. (1987) Understanding the mode of action of the chloroacetamide and thiocarbamate herbicides. *Weed Technology*, 1:270-277.

- Galvão, J.C.C., Miranda, G.V., Trogello, E., Fritsche-Neto, R. (2014) Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. *Revista Ceres*, 61:819-828.
- Gomes, F.P. (1990) *Curso de estatística experimental*. 13 ed, Piracicaba: USP/ESALQ, 468p.
- Gonçalves, J.F.C, Silva, C.E., Guimarães, D.G., Bernardes, R.S. (2010) Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta Amaz*, 40:89-98.
- Gupta, T., Crooks, N., Mulhern, W., Setty, S. T., Alvisi, L., Walfish, M. (2016) Scalable and Private Media Consumption with Popcorn. *NSDI*, 16:91-107.
- Hendry, G.A.F., Price, A.H. (1993) Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. *In: Hendry, G.A.F., Grime, J.P. (eds.) Methods in comparative plant ecology*. London: Chapman e Hall, p. 148-152.
- Hongyu, K. (2015) *Comparação do GGE-biplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo x ambiente*. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 155p.
- Kalaji, H., V. Goltsev, M. Brestic, K. Bosa, S. Allakhverdiev, R.J. Govindjee. (2014) In vivo measurements of light emission in plants. *In: Allakhverdiev, S., Rubin, A. Shuvalov, V. (eds.) Photosynthesis: Open Questions and What We Know Today*. Moscow: Institute of Computer Science, p. 1-40.
- Kamphorst, S.H., Gonçalves, G.M.B., Amaral Júnior, A.T. do, Lima, V.J. de, Leite, J.T., Schmitt, K.F.M., Santos Junior, D.R. dos, Santos, J.S., Oliveira, F.T. de, Corrêa, C.C.G., Rodrigues, W.P., Campostrini, E., (2020) Screening of Popcorn Genotypes for Drought Tolerance Using Canonical Correlations. *Agronomy*, 10:1519.
- Karam, D., Lara, F. R., Cruz, M. B., Pereira Filho, I. A., Pereira, F. (2003) Características do herbicida S-Metolachlor nas culturas de milho e sorgo. *Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica*, 36:1-3.
- Kist, B.B., Carvalho, C., Beling, R.R., (2019) *Anuário Brasileiro do Milho 2019* Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 7p.

- Krause, G.H., Weis, E. (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42:313-349.
- Krenchinski, F.H. (2018) *Glufosinate e associações com herbicidas em tecnologias de milho com o gene fosfinotricina acetyltransferase*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, 91p.
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P.C. de F., Dedieu, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190:4-8.
- Liebl, R. (1995) Cell growth inhibitors (cloroacetamides, cabomothioates, napropamide, bensulide), *In* Liebl, R. (ed.) *Herbicide action*. West Lafayette: Purdue University, p. 200-224.
- Lima, V.J., Leite, J.T., Schmitt, K.F.M., Vittorazzi, C., Mora, F., (2016) Combining ability of S3 progenies for key agronomic traits in popcorn: comparison of testers in top-crosses. *Genetics and Molecular Research*. 15:4-14.
- Marinis, G. (1972) Ecologia de plantas daninhas. *In*: Camargo, P. (ed.) *Texto básico de controle de plantas daninhas*. Piracicaba: ESALQ, p. 1-74.
- Matos, M.J.F.L., Tavares, S.A., Santos, F.F., Melo, M.F., Miles, C.A., Zenz, L., (2006) Baby corn. *Baby Corn*, 1:1-6.
- Maxwell, K., Johnson, G. N. (2000) Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51:659-668.
- Melo, C.A.D., Dias, R.C, Mendes, K.F., Assis, A.C.L.P., Reis, M.R. (2017) Carryover de herbicidas em sistemas cultivados com olerícolas. *Revista Brasileira de Herbicidas* 15:67-78.
- Miranda, D.S., Silva, R.R., Tanamati, A.A.C., Cestari, L.A., Madrona, G.S., Scapim, M.R., (2012) Avaliação da qualidade do milho-pipoca. *Revista Tecnológica*, 21:13-20.
- Moser H., Rihs, G., Sauter, H. P., Bohner, B. (1983) Atropisomerism, chiral center and activity of metolachlor. *In*: Miyamoto, J., Kearney, P. C., Doyle P., Fujita, T. (eds.) *IUPAC Pesticide Chemistry: human welfare and environment*. Oxford: Pergamon Press, p. 315-320.

- Oliveira Júnior, R. S. (2011) Mecanismos de ação de herbicidas. *In: Oliveira Júnior, R. S., Constantin, J., Inoue, M. H. (eds.) Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax Editora, p. 141-192.
- O'Sullivan, J., Zandstra, J., Sikkema, P. (2002) Sweet Corn (*Zea mays*) Cultivar Sensitivity to Mesotrione. *Weed Technology*, 16:421-425.
- Ouro Fino Agrociência – Atrazina (2018) Disponível em: <https://ourofinoagro.com.br/produtos/Atrazinabr/> em 25/01/ 2021 página mantida pela Ouro Fino Agrociência.
- Ouzounidou, G., Moustakas, M., Strasser, R. (1997) Sites of action of copper in the photosynthetic apparatus of maize leaves: Kinetic analysis of chlorophyll fluorescence, oxygen evolution, absorption changes and thermal dissipation as monitored by photoacoustic signals. *Australian Journal of Plant Physiology*, 24:81-90.
- Pandey, S., Asthana, R.K., Kayastha, A.M., Singh, N., Singh, S.P. (1999) Metal uptake and thiol production in *Spirodela polyrhiza* (L.) SP. *Journal of Plant Physiology*, 154:634-640.
- Piekielek W.P., Fox, R.H. (1992) Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal*, 84:59-65.
- Pribil, M., Labs, M., Leister, D. (2014) Structure and dynamics of thylakoids in land plants. *Journal of experimental Botany*. 65:1955-1972.
- Sapucay, M.J.L.C., Coelho, A.E., Bratti, F., Locatelli, J. L., Sangoi, L., Balbinot Junior, A.A., Zucareli, C. (2020) Nitrogen rates on the agronomic performance of second-crop corn single and intercropped with ruzigrass or showy rattlebox. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50:2-10.
- R Core Team (2017) *R: A language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing.
- Ribeiro, R.M., Amaral Júnior, A.T. do, Gonçalves, L.S.A., Candido, L.S., Silva, T.R., Pena, G.F. (2012) Genetic progress in the UNB-2U population of popcorn under recurrent selection in Rio de Janeiro. *Genetics and Molecular Research* 11:1417-1423.
- Ribeiro, R.M., Amaral Júnior, A.T. do, Pena, G.F., Vivas, M., Kurosawa, R.N., Gonçalves, L.S.A. (2016) Effect of recurrent selection on the variability of the UENF-14 popcorn population. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 16:123-131.

- Ripley, B.S., Redfern, S.P., Dames, J. (2004) Quantification of the photosynthetic performance of phosphorus-deficient Sorghum by means of chlorophylla fluorescence kinetics. *South African Journal of Science*, 100:615-618.
- Ruedell, J. (1995) *Plantio direto na região de Cruz Alta*. Cruz Alta: Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigo-FUNDACEP, 133p.
- Schreiber, U., Schliwa, U., Bilger, W. (1986) Continuous recording of photochemical and nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynthesis Research*, 10:51-62.
- Segatto, C., Conte, R., Lajús, C.R., Luz, G.L. D.A. (2017) Relação da leitura do clorofilômetro com o rendimento da cultura do milho em diferentes níveis de suprimento de nitrogênio. *Scientia Agraria Paranaensis*, 16:253-259.
- Silva Júnior, J. do B.F., (2008) *Interação milho-Herbaspirillum seropedicae: Seleção de estirpes, resposta fisiológica e promoção do crescimento em genótipos submetidos à seca*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 93p
- Silva, A.A. e Silva, J.F. (2007) *Tópicos em manejo de plantas daninhas*. Viçosa: Editora UFV, 367p.
- Silva, F.F., Viana, J.M.S., Faria, V.R., de Resende, M.D.V. (2013) Bayesian inference of mixed models in quantitative genetics of crop species. *Theor Appl Genet*, 126:1749-1761
- Silva, M.M. (2019) *Sensibilidade de genótipos de milho geneticamente modificados a herbicidas*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Diamantina – MG, Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri, 80p.
- Silva, M.M.P., Vasquez, H.M., Bressan-Smith, R., Silva, J.F.C., Erbesdobler, E.D., Andrade Junior, P.S.C. (2006) Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas a deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:67-74.
- Silvestre S., Araújo, S., C. Patto, M.C.V., Silva J.M. (2014) Performance index: an expeditious tool to screen for improved drought resistance in the Lathyrus genus. *International journal of plant biology*, 56:610-621.
- Stirbet A.G. (2011) On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the

- OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104:236–257.
- Strasser, R.J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M. (2001) The fluorescence transient as a tool to characterise and screen Photosynthetic Samples. In: Yunus, M (ed.) *Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation*, Londres: CRC Press, 478p.
- Strasser, R.J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M. (2004) Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou, G., Govindjee (eds.) *Advances in Photosynthesis and Respiration. Vol. 19: Chlorophyll fluorescence: a Signature of photosynthesis*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 321–362.
- Sunderman, H.D., Pontius, J.S., Lawless, J.R. (1997) Variability in leaf chlorophyll concentration among fully-fertilized corn hybrids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 28:1793-1803.
- Swanton, C. J., Weise, S. F. (1991) Integrated Weed Management. *Weed Technology*, 5:657-663.
- Syngenta – Atrazina+S-metolachlor (2020) Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/product/crop-protection/herbicida/primestra-gold>. em: 25/01/2021 página mantida pela Syngenta.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2014) *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 719p.
- Vieira, R.A., Scapim, C.A., Tessmann, D.J., Ferreira, F.R.A., Vivas, M., Amaral Júnior, A.T. do (2016) A nonparametric approach to selection popcorn hybrids to resistance to foliar diseases. *Científica* 44:165-181.
- Vittorazi, C., Freitas, J. A. A. (2014) Maximum quantum yield of photosystem II to assist in the measurement of herbicide selectivity in popcorn. *Plant Science Today*, 1:80-85.
- Zipper, S.C., Qiu, J., Kucharik, C.J. (2016) Drought effects on US maize and soybean production: spatiotemporal patterns and historical changes. *Environ. Res. Lett*, 1:1-11.