



**Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO DE HÍBRIDOS DE MILHO  
CULTIVADOS COM E SEM RESTRIÇÃO HÍDRICA**

**Natanael Pereira da Silva**

**2019**

**NATANAEL PEREIRA DA SILVA**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO DE HÍBRIDOS  
DE MILHO CULTIVADOS COM E SEM RESTRIÇÃO HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

**Orientador**

**Prof. Dr. Ignacio Aspiazú**

**JANAÚBA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2019**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de  
Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Silva, Natanael Pereira da

S586d Desempenho agrônômico e fisiológico de híbridos de milho cultivados com e sem restrição hídrica [manuscrito] / Natanael Pereira da Silva. – 2019.  
85 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2019.  
Orientador: Prof. D. Sc. Ignacio Aspiazú.

1. Hibridação vegetal. 2. Milho. 3. Milho híbrido. I. Aspiazú, Ignacio. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.15

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

**NATANAEL PEREIRA DA SILVA**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO DE  
HÍBRIDOS DE MILHO CULTIVADOS COM E SEM RESTRIÇÃO  
HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

**APROVADA em 25 de Fevereiro de 2019.**

**Prof. Dr. Ignacio Aspiazú  
UNIMONTES (Orientador)**

**Eng. Agr. Dr. Paulo Cesar Magalhães  
EMBRAPA (Coorientador)**

**Prof. Dr. Abner José de Carvalho  
UNIMONTES (Conselheiro)**

**Prof. Dr. Arley Figueiredo Portugal  
EMBRAPA (Conselheiro)**

**Eng. Agr. Dr. João Batista Ribeiro da Silva Reis  
EPAMIG (Conselheiro)**

**JANAÚBA  
2019**

À minha mãe Nilza Mendes  
DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES e aos professores pela oportunidade de aprendizado e ensinamentos;

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido – PPGPVSA pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional;

À Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsas de estudos;

Aos meus pais, Nilza e Juarez (*in memoriam*): agradeço imensamente pelos ensinamentos e pelo incansável esforço em realizar essa nossa conquista;

Aos meus irmãos, Natania, Nailza, Ezequiel e Jeziele pelo apoio e incentivo;

À minha namorada Érica Morgana pelo apoio, incentivo e companheirismo;

À EMBRAPA milho e sorgo pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho e aos seus funcionários pela colaboração para que este acontecesse;

Ao meu orientador Ignacio Aspiazú pela preciosa orientação, ensinamentos, paciência, amizade e confiança;

Aos pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, Arley Figueiredo Portugal e Paulo Cesar Magalhães pela confiança e ensinamentos;

Aos meus amigos da Unimontes, Varley Andrade, Cleiton Fernando, Igor Nogueira, Andrey Antunes, Marina Borges, Edson Fagne, Renato Mendes e Karen Marcelle, pela paciência, ajuda e amizade;

Por fim, agradeço aos meus colegas e todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

A todos, meu muito obrigado!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
2.1 Origem e classificação botânica do milho .....	12
2.2 Importância socioeconômica do milho .....	13
2.3 Estresse hídrico, conceito e importância .....	16
2.4 Consumo de água pelo milho .....	18
2.5 Período crítico do milho ao déficit hídrico .....	20
2.6 Efeitos do déficit hídrico .....	22
2.7 Mecanismos de tolerância à seca .....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30
CAPÍTULO I.....	36
RESUMO .....	37
ABSTRACT .....	38
1 INTRODUÇÃO .....	39
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	41
2.1 Delineamento experimental e tratamentos .....	42
2.2 Instalação e condução do experimento.....	42
2.3 Características avaliadas .....	43
2.4 Análises estatísticas.....	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4 CONCLUSÕES .....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
CAPÍTULO II.....	57
RESUMO .....	58
ABSTRACT .....	59
1 INTRODUÇÃO .....	60
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	62
2.1 Delineamento experimental e tratamentos .....	63
2.2 Instalação e condução do experimento.....	63
2.3 Características avaliadas .....	64
2.4 Análises estatísticas.....	66
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	66
4 CONCLUSÕES .....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83

## RESUMO GERAL

Objetivou-se com esse estudo avaliar os efeitos da restrição hídrica durante o período de pré-florescimento de híbridos de milho. O estudo foi realizado na Fazenda experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Nova Porteirinha-MG no ano de 2017. Foram realizados simultaneamente dois experimentos de campo, um com e outro sem restrição hídrica. No experimento sem restrição hídrica, foi feita a irrigação da cultura normalmente, até atingir a maturidade fisiológica dos grãos. Já no experimento com restrição hídrica, a irrigação foi estabelecida do período de pré-florescimento até o final do ciclo da cultura. Em cada um dos experimentos os tratamentos foram quatro híbridos de milho, sendo dois sensíveis (BRS 1010, BRS 1040) e dois tolerantes (BRS 1055 e DKB 390) ao déficit hídrico. Os experimentos foram instalados em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados o teor relativo de clorofila (SPAD), fluorescência da clorofila (Fv/Fm), condutância estomática (Gs), altura da planta (AP), altura de inserção de espiga (AE), índice de área foliar (IAF), ângulo radicular (AR), intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), plantas acamadas e quebradas (PAC+PQ), além dos componentes de produção: comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), número de fileiras de grãos por espiga (NFG), número de grãos por fileira (NGPF), peso de grãos (PG), peso 100 grãos (P100G), número total de espigas (NTE), índice de espiga (IE), massa seca da parte aérea (MSPA), rendimento de grãos (RG) e a eficiência do uso da água (EUA). Verificou-se que as variáveis de SPAD, Fv/Fm e IAF são bons indicadores morfofisiológicos para seleção de milho tolerantes à seca. A restrição hídrica durante o pré-florescimento reduziu de 62,92 a 86,19% o RG. Os híbridos de milho quando submetidos à restrição hídrica possuem RG estatisticamente semelhantes. O híbrido DKB 390 possui maior RG e EUA e menor número PAC+PQ sob condições adequadas de irrigação, sem restrição hídrica.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, tolerância à seca, estresse abiótico, indicadores, BRS1040, BRS 1010, DKB 390 e BRS 1055.



## GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of water restriction during the pre-flowering period of maize hybrids. The study was carried out at the Experimental Farm of Embrapa Milho and Sorgo, in Nova Porteirinha-MG in 2017. Two field experiments were carried out simultaneously, one with and the other without water restriction. In the experiment without water restriction, the crop was irrigated normally, until reaching the physiological maturity of the grains. In the experiment with water restriction, irrigation was established from the pre-flowering period until the end of the crop cycle. In each experiment, the treatments were four maize hybrids, two sensitive (BRS 1010, BRS 1040) and two tolerant (BRS 1055 and DKB 390) to the water deficit. The experiments were installed in a randomized complete block design with four replications. The relative content of chlorophyll (SPAD), chlorophyll fluorescence (Fv/Fm), stomatal conductance (Gs), plant height (PH), spike insertion height (SIH), leaf area index (LAI), root angle (RA), interval between male and female flowering (ASI), lodged and broken plants (LP + BP), plus production components ear length (EL), ear diameter (ED), number of grain rows (NGR), number of grains per row (NGPR), grain weight (GW), weight of 100 grains (W100G), total number of spikes (NS), ear index (EI), shoot dry weight (SDW), grain yield (GY) and water use efficiency (WUE). It was verified that the variables SPAD, Fv/Fm and IAF are good morphophysiological indicators for selection of drought tolerant maize. Water restriction during pre-flowering reduced GY from 62.92 to 86.19%. Maize hybrids, when subjected to water restriction, have statistically similar GY. The hybrid DKB 390 has higher GY and WUE and lower number of LP + BP under adequate irrigation conditions, without water restriction.

**Keywords:** *Zea mays*, drought tolerance, abiotic stress, indicators, BRS 1040, BRS 1010, DKB 390 and BRS 1055.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, é um cereal cultivado em vários países, desde o clima tropical até o temperado com presença de verões quentes. O milho apresenta um alto potencial produtivo, devido ser uma planta de metabolismo fotossintético C4, sendo, portanto, bastante eficiente na utilização da radiação, bem como, no uso da água.

O Brasil com uma produção de 94,5 milhões de toneladas ocupa o terceiro lugar na produção mundial de milho, ficando atrás somente de Estados Unidos e China (USDA, 2018). Minas Gerais é o quarto estado maior produtor de milho do país, com 7.086 milhões de toneladas (CONAB, 2018). A região norte de Minas Gerais é a sétima região maior produtora do estado, sendo ainda considerada uma das regiões com pouco destaque na produção de milho. Sabe-se que a região norte do estado é distinta das demais regiões pelos fatores climáticos limitados para cultivo do milho ao que corresponde a precipitações adequadas para cultura.

O estresse hídrico é um problema em aproximadamente 45% das áreas agrícolas e é a maior restrição global à produtividade, tornando-se um grande problema (MADABULA *et al.*, 2016). Em torno de 14,8% da área plantada com milho é afetada pela seca (DURÃES, 2007). Sob condições de estresse hídrico, a cultura do milho apresenta crescimento e desenvolvimento limitados, sendo o período crítico ao estresse hídrico que engloba a floração e enchimento de grãos como o período em que apresenta maiores reduções da produtividade, pois há alta demanda de umidade no solo.

Muitos programas de melhoramento não têm tido sucesso no desenvolvimento de cultivares tolerantes ao déficit hídrico. A seleção para produção de grãos sobre déficit hídrico tem sido considerada ineficiente em vista da alta proporção da variância ambiental em relação à genética, o que reduz a herdabilidade do caráter e dificulta a seleção de genótipos superiores. O melhoramento convencional para produção em condições de déficit hídrico é moroso e laborioso, visto que as condições experimentais devem ser cuidadosamente manejadas. Ainda, o aumento do estresse de umidade induz a redução na produção, sendo dependente de dois fatores com efeitos combinados, ou seja, a

suscetibilidade da planta à seca e a expressão do potencial produtivo, tanto sob estresse, quanto em condições normais, fazendo com que a seleção se torne mais complexa (CÂMARA *et al.*, 2007).

As avaliações, incluindo testes com e sem déficit hídrico, são muito importantes para a identificação de híbridos mais e menos afetados pela redução da disponibilidade de água, no caso de interação do genótipo-irrigação. A identificação de híbridos com rendimentos menos afetados por variações ambientais é um dos principais alvos de melhoramento, enquanto híbridos fortemente influenciados por variações ambientais são úteis em estudos sobre mecanismos fisiológicos relacionados à tolerância ao estresse (TEIXEIRA *et al.*, 2010).

O déficit hídrico provoca uma série de reações que conforme a duração e intensidade tornam-se irreversíveis a planta de milho. Híbridos de milho respondem de maneira específica ao estresse causado pela limitação hídrica, devido ser um caráter genético da planta em resposta às condições ambientais, portanto, é de fundamental importância avaliar os efeitos da deficiência hídrica em diferentes materiais e quantificar seus prejuízos, bem como caracterizar os materiais que são mais adaptados e identificar caracteres morfológicos e fisiológicos associados à tolerância à seca, sobretudo no período crítico ao déficit hídrico da cultura.

Diante do exposto, objetivou-se com esse estudo avaliar a os efeitos do déficit hídrico durante o período de pré-florescimento de híbridos de milho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA DO MILHO

O milho é originário da América Central ou do México, tendo sido desenvolvido nos últimos oito mil anos. É uma gramínea pertencente à família Poaceae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e à espécie *Zea Mays* L. (PATERNIANI *et al.*, 2000). Depois esse cereal começou a ser cultivado em todas as partes das Américas, e, após, foi transportado e cultivado na Europa, África e Ásia. Na época atual pode ser cultivado em uma vasta variedade de ambientes, e o que tem possibilitado essa adaptação deu-se em virtude da sua utilização na mais diversificada tecnologia de produção (GARCIA *et al.*, 2006). Atualmente, por meio da seleção de genótipos e com o aperfeiçoamento de métodos de manejo da cultura, pode ser cultivado em regiões entre os paralelos 58º N, situada em países como o Canadá e Rússia, a 40º S na Argentina. Seu cultivo é difundido em diversas altitudes, como exemplo a região do mar Cáspio, situada abaixo do nível do mar até as regiões com 2.500 m de altitude, como a região dos Andes Peruano De acordo com o fotoperíodo, o milho é considerado como planta de dias curtos ou neutra (SILVA *et al.*, 2006).

É um dos vegetais superiores mais estudados, pode ser considerada uma das mais importantes fontes de alimento da atualidade, sendo utilizado como fonte de carboidratos e energia tanto para alimentação humana quanto para o animal (BORÉM e GIÚDICE, 2004). Essa espécie possui uma enorme variabilidade genética correspondendo atualmente cerca de 300 raças de milho e, dentro das raças, numerosas variedades. Por ser cultivado em quase todos os continentes e, em todas as condições, pode-se notar sua ampla variabilidade genética quanto à adaptabilidade do milho em diferentes condições ambientais, como para outros caracteres da planta, dos grãos e da espiga. Também destaque para variabilidade com relação ao porte, a composição química do grão, do endosperma e à qualidade de proteína (PATERNIANI *et al.*, 2000). Todavia, com os resultados gerais do processo de seleção natural juntamente com a domesticação produziu uma planta de cultivo anual, robusta e ereta, com arquitetura variando de um a quatro metros, que foi brilhantemente “construída” para a produção de grãos (MAGALHÃES *et al.*, 2002).

O milho é pertencente ao grupo de plantas que apresenta metabolismo fotossintético do tipo C<sub>4</sub>, que é caracterizado pelo alto potencial produtivo. Dentre as plantas que apresenta metabolismo C<sub>4</sub>, o milho encontra-se no grupo de espécies com melhor eficiência de uso da radiação solar ou eficiência quântica, apresentando valor médio entre 64,5 a 69 mmol mol<sup>-1</sup>, ao passo que outras espécies C<sub>4</sub> possuem valores em torno de 52,6 a 60,4 mmol mol<sup>-1</sup> (BERGAMASCHI *et al.*, 2004). A maior parte da matéria seca do milho, aproximadamente 90%, resulta da fixação de CO<sub>2</sub> pelo processo fotossintético (CRUZ *et al.*, 2006). As espécies C<sub>4</sub> são predominantemente tropicais e subtropicais. Estas incluem outras culturas importantes como o sorgo e a cana de açúcar. Supõe-se que as principais forças evolutivas que conduziram ao surgimento das plantas C<sub>4</sub> tenham sido a progressiva redução da concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico em combinação com o estresse hídrico e altas temperaturas. As plantas C<sub>4</sub> são especialmente bem adaptadas às condições ambientais onde a irradiância e a temperatura são elevadas, apresentando ainda certa tolerância ao estresse hídrico (MAJEROWICZ, 2013).

O milho é cultura de clima quente e necessita de calor e umidade elevados, desde o plantio até o final da floração, sendo um dos elementos de produção juntamente com água mais importante e decisivo para o desenvolvimento da cultura (SILVA *et al.*, 2006). A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30°C (CRUZ *et al.*, 2006). O milho acelera ou alonga seu ciclo em função do regime térmico, que varia com a época de semeadura (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014).

## **2.2 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DO MILHO**

É produzido em praticamente todos os continentes, o interesse econômico do milho se destaca pelas inúmeras formas de sua utilização, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, como por exemplo, a produção de embalagens biodegradáveis e filmes (PAES, 2006). Pode ser transformado em diversos derivados, o que possibilita o uso desse cereal como uma excelente fonte de matéria-prima para a indústria de alimentos. Podendo-se apresentar em torno de noventa derivados diferentes; dentre esses, os mais relevantes são o óleo, fubá, canjica, amido, amilopectina, amilose, zeína e fibras (GONÇALVES *et al.*, 2003). Aproximadamente, 70% da produção mundial de milho são

destinadas à alimentação animal, este percentual pode chegar até 85% nos países desenvolvidos. Em geral, somente 15% de toda a produção mundial, de forma direta ou indireta, é atribuído ao consumo humano (PAES, 2006). Este cereal é a principal fonte de alimento para criações, principalmente de suínos e aves (SILVA *et al.*, 2004).

É uma cultura plantada em todo o território brasileiro, distinguindo-se das demais culturas por abranger a maior área cultivada no país. Sua importância reside ainda na capacidade de empregar mão-de-obra, visto que, em virtude de suas características de produção, essa cultura tem grande participação na geração de emprego no setor rural. Além disso, no Brasil, o milho se destaca, entre os grãos, como o produto de maior volume produzido, respondendo pelo segundo maior valor da produção, sendo superado apenas pela soja (SOUZA e BRAGA, 2004). Possui a capacidade de produzir a maior quantidade de alimento por unidade de área e em pouco tempo, com duração do seu ciclo em torno de quatro meses (PATERNIANI *et al.*, 2000).

A população da região Nordeste é a maior consumidora de milho, com consumo médio anual de 11 kg por pessoa, valor superior à média nacional de consumo deste cereal em 40%, sendo a média nacional em torno de 7,7 kg por pessoa. Entretanto, na zona rural brasileira o consumo de milho é ainda muito mais expressivo, a zona rural da região Sudeste e da região Nordeste são as grandes consumidoras de milho e seus derivados, com aproximadamente 31 kg e 20 kg por pessoa, respectivamente. As formas predominantes de aquisição domiciliar ainda são: o milho em espiga ou enlatado, o milho em grão, o fubá, o creme de milho, os flocos de milho e o pão de milho. Deste modo, os produtos ou derivados obtidos por meio de moagem seca do milho são como um componente básico na dieta alimentar das camadas mais pobres da população (PAES, 2006).

A produção mundial de milho na safra 2018/19 foi de 1,099 bilhões de toneladas, o Brasil com 94,5 milhões de toneladas, ocupa o terceiro lugar da produção, consumo e estoque mundial de milho, ficando atrás somente dos Estados Unidos e China, com 371,51 e 256,0 milhões de toneladas, respectivamente (USDA, 2018). Representando uma área de cultivo em 16,636 milhões de ha, a cultura do milho foi responsável pela produção nacional de 81,35 milhões de toneladas de grãos produzidos na safra 2017/18, com um rendimento médio de 4,89 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018), ainda assim a produtividade brasileira de milho é considerada baixa e está distante da produtividade média alcançada por outros países como os Estados Unidos e França que atingem médias de até 10 t ha<sup>-1</sup> (ROMANO, 2005).

No Brasil a época de produção de milho tem-se caracterizado pela divisão em duas épocas de semeadura. A primeira safra, ou semeadura de verão, que é feita a semeadura durante o período chuvoso, ou seja, entre os meses de outubro e novembro para a região Sudeste, e ultimamente, temos a produção alcançada na segunda safra, ou safrinha, que se refere ao milho de sequeiro, plantado entre os meses de fevereiro ou março, geralmente depois da soja precoce (COELHO, 2013).

Atualmente com 36,81% da produção de cereais do país, o milho se estabelece como a segunda cultura de maior importância para a agricultura do Brasil, atrás apenas da soja, que representa 53,98% da produção na safra 2017/18. Os estados brasileiros maiores produtores de milho são o Mato Grosso, Paraná, Goiás e Minas Gerais com as respectivas produções de 26.400, 11.983, 8.111 e 7.086 milhões de toneladas. O estado de Minas Gerais corresponde ao quarto estado maior produtor de grãos de milho, a cultura ocupou uma área plantada de aproximadamente 1,16 milhões de hectares na safra 2017/18, sendo responsável por uma produtividade em torno de 6,082 t ha<sup>-1</sup>, na qual, vale destacar a superioridade à da média brasileira (CONAB, 2018).

As principais regiões produtoras de milho de Minas Gerais da safra 2017 são a região do Alto Paranaíba, Sul de Minas, Triângulo, Noroeste, Central, Centro Oeste, Nortes de Minas e Zona da Mata, com as seguintes produções 1.731, 1.508, 1.421, 1.301, 0.625, 0.524, 0.213 e 0.207 milhões de toneladas, respectivamente. A região do Alto Paranaíba, maior produtora do milho no estado, possui uma produtividade de 7.436 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo por 22,63% da produção do estado. Já a região do Norte de Minas corresponde apenas 2,8% da produção total de milho em Minas Gerais, com uma produtividade de 3.227 kg ha<sup>-1</sup>, sendo, portanto abaixo a da média nacional (SEAPA, 2019). Embora ainda nos últimos anos a produtividade de milho no Norte de Minas tenha crescido a uma taxa elevada a área plantada tem-se diminuído, sendo, portanto os valores de produtividade ainda são considerados muito baixos (GARCIA *et al.*, 2006). Diferenças nos rendimentos agrícolas são devido a fatores edafoclimáticos, econômicos e em relação ao conhecimento disponível e disseminado entre os agricultores (MAGALHÃES *et al.*, 2002).

Verifica-se que em Minas Gerais a produção de milho está concentrada nas regiões do Alto Paranaíba, Sul de Minas, Triângulo, no Oeste e Noroeste do Estado. As causas dessa concentração estão tanto nas condições agroecológicas, principalmente o clima e topografia que são mais favoráveis nessas regiões, bem como pela proximidade de mercado e pela

organização comercial e gerencial das propriedades produtoras, o que facilita e induz a introdução de tecnologias de produção mais competitivas. A região norte de Minas Gerais é conhecida por fatores climáticos adversos e com economia agrícola concentrada na agricultura de subsistência e na pecuária extensiva (GARCIA *et al.*, 2006). Portanto, a cultura do milho nessa região apresenta produtividade limitada, decorrente da carência de assistência técnica, utilização de baixa tecnologia, de poucos incentivos à cultura e, principalmente das condições ambientais adversas, que são consideradas as principais causas desse fato (VARGAS *et al.*, 2006). Segundo Matzenauer *et al.* (1995), dentre os elementos meteorológicos, o fator hídrico é o que, com maior frequência e intensidade, prejudica a produção das lavouras.

### **2.3 ESTRESSE HÍDRICO, CONCEITO E IMPORTÂNCIA**

O conhecimento da agricultura indica que mais de 60% da variabilidade na produtividade das culturas pode ser explicada pelas flutuações no clima. Mais de 55% das causas de perdas de colheitas podem ser identificadas como déficits de água no solo (SOUZA e HABERMANN, 2012). A seca é um dos importantes fatores abióticos que limitam o rendimento do milho em diferentes regiões do país. Estima-se que 80% do milho plantado em áreas de sequeiro sofra redução periódica do rendimento devido ao comportamento errático das chuvas (SAIN *et al.*, 2001).

O estresse hídrico é mais constante para a produção agrícola e para a estabilidade produtiva em muitas regiões do mundo. As secas são inevitáveis e ocorrem com frequência em todo o mundo, apesar das habilidades aprimoradas preverem seu início e modificarem seu impacto. A seca continua a ser o fator mais importante que afeta a segurança mundial e a estabilidade dos recursos terrestres dos quais os alimentos são derivados (FAGERIA *et al.*, 2006). A estiagem nas regiões secas tem ocorrência prolongada e regular, de maneira que a evaporação anual ultrapassa a precipitação total (LARCHER, 2004).

De acordo com Larcher (2004), a seca como um estresse vegetal ocorre um desvio das condições ótimas que a planta se encontra e ocorrem mudanças e respostas funcionais do organismo, podendo se tornar irreversíveis ao longo do tempo. Haverá estresse hídrico quando o ambiente apresentar um período de tempo prolongado sem precipitações



desejáveis no decorrer da qual o volume de água armazenado no solo é reduzida, de modo que as plantas sofram com a carência de água.

A seca é um evento meteorológico e hidrológico que envolve precipitação, evaporação e armazenamento de água no solo, onde ocorrem decréscimos na umidade do solo em zonas de enraizamento das culturas. Geralmente, o estado de dessecação do solo é acompanhado de alta evaporação provocada pelos altos níveis de radiação e demanda evaporativa do ar (FAGERIA *et al.*, 2006). A seca ainda continua a ser um desafio para os pesquisadores agrícolas em geral, em especial para os melhoristas vegetais, apesar de muitos anos de pesquisa. A disponibilidade limitada de água é o principal fator que compromete a produção agrícola. É considerada uma restrição permanente à produção agrícola em muitos países em desenvolvimento (PASSIOURA, 1996), sendo mais frequente em plantas cultivadas sob climas áridos e semiáridos. Regiões que apresentam precipitação adequada, mas não uniforme, também experimentam ambientes com carência de água. Tanto a seca leve quanto a severa tem sido um dos principais fatores limitantes da produção desde o início da agricultura. Logo, a capacidade das plantas para suportar esse estresse é de imensa importância econômica (LISAR *et al.*, 2012).

As áreas cultivadas com milho no Brasil são desenvolvidas predominantemente sem irrigação e, mesmo em anos regulares de precipitação, verificam-se perdas na produção em consequência de períodos de estiagem, denominados de veranicos (CÂMARA *et al.*, 2007). A deficiência hídrica é um dos fatores que com mais frequência reduz acentuadamente o rendimento de grãos em milho. A irrigação poderia corrigir tal problema; contudo, em muitas situações, a região não possui precipitações adequadas e uniformes e, às vezes, torna-se economicamente inviável. Portanto, a utilização de cultivares com capacidade de resistir a períodos com deficiência hídrica sem grandes prejuízos à produção é uma boa alternativa (MACHADO e FURLANI, 1985).

Sob condição de déficit hídrico no solo as plantas de milho apresentam crescimento e desenvolvimento limitado, o que pode comprometer tanto a produção como a qualidade dos alimentos produzidos. Em regiões tropicais essa questão possui maior relevância, pois é nessas regiões que são produzidas a maioria dos cultivos, e ainda, residem muitas famílias que dependem da agricultura como meio de sobrevivência. Portanto, o conhecimento dos mecanismos morfológicos e fisiológicos que contribuem para uma tolerância do milho sob

baixa disponibilidade de água no solo, é de extrema importância para a seleção precoce de genótipos com rendimento satisfatório (AVILA, 2015).

## **2.4 CONSUMO DE ÁGUA PELO MILHO**

A água é uma das substâncias mais importantes do planeta e o solvente ideal para a ocorrência dos processos bioquímicos. A cada 2 g de matéria orgânica produzida pela planta, cerca de 1 L d'água é absorvido pelas raízes, transportado por meio dos vasos da planta e, por fim, perdido para a atmosfera (PIMENTA, 2013). É o principal constituinte dos tecidos vegetais, correspondendo algumas vezes a até 95% do peso total da matéria fresca (FLOSS, 2004). A planta absorve água presente no solo para suprir às suas necessidades fisiológicas e, deste modo, atender a seu requerimento de nutrientes, que são transportados juntamente com ela, na forma de fluxo de massa (MAGALHÃES e DURÃES, 2006). Do ponto de vista fisiológico, é imprescindível que seus tecidos apresentem, constantemente, elevado conteúdo de água para um bom desenvolvimento da planta, visto que a turgidez dos tecidos é crucial para a fotossíntese, floração e frutificação. As funções essenciais da água na planta além da manutenção da turgidez são como constituinte, solvente, reagente, resfriamento da folha e transporte de íons/sais e fotoassimilados (FLOSS, 2004).

Uma planta de milho é capaz de absorver uma quantidade de água de até 200 L durante seu ciclo. Desse total de água absorvida, em torno de 98% são perdidos por transpiração, aproximadamente 0,2% é consumido na fotossíntese e o restante permanece retido nos tecidos da planta. Em virtude do milho ser uma planta com metabolismo fotossintético do tipo C4, a planta de milho demanda uma quantidade de água menor por unidade de matéria seca produzida quando comparado aos cereais de inverno. Seu cultivo pode ser feito em regiões cuja precipitação anual apresenta de 250 a 5.000 mm (FLOSS, 2004). O consumo de água pela planta de milho varia em consequência de fatores ambientais, associados ao estágio de desenvolvimento da planta e ao genótipo utilizado. Os cultivares que possuem ciclo superprecoce e precoce apresentam menor consumo hídrico do que cultivares que possuem ciclo mais tardio (CASTRO e KLUNGE, 1999).

As necessidades hídricas das culturas e a sensibilidade ao déficit hídrico variam ao longo do ciclo (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014), que vai depender do nível de manejo adotado, da disponibilidade de água no solo (SILVA *et al.*, 2006), e além das condições

edafoclimáticas da região. A demanda de água pelo milho pode variar de acordo com o híbrido utilizado, híbridos que possuem ciclo médio, durante todo seu ciclo exigem uma quantidade de água de 500 a 800 mm para produção de grãos, o que pode variar dependendo das condições climáticas da região de cultivo, ainda assim, existem genótipos que podem consumir até 300 e outros acima de 840 mm (FLOSS, 2004). Pode-se afirmar que há produção satisfatória, economicamente viável, ao se disponibilizar 680 mm de água a cultura durante todo o seu ciclo, sendo que, sob lâminas inferiores a 80% da ETC o crescimento da cultura do milho é limitado pela deficiência hídrica (BRITO *et al.*, 2013).

Nos estádios iniciais de crescimento, o consumo de água pela planta de milho em um clima quente e seco dificilmente excede 2,5 mm por dia. No período entre o espigamento e a maturação, o consumo pode subir para 5 a 7,5 mm diários. Mas, se a umidade do ar estiver muito baixa e a temperatura estiver elevada, a demanda pode chegar até 10 mm de água por dia (CRUZ *et al.*, 2006). Sendo assim, o milho é considerado uma cultura que possui uma alta demanda de água. Apesar disso, é uma das culturas mais eficientes no seu uso, ou seja, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida (ALBUQUERQUE e RESENDE, 2002), produzindo cerca de 20 kg de grãos por mm de água. Estima-se que a cultura precise de 250 a 300 L de água para produzir 1 kg de matéria seca. (FLOSS, 2004).

Com o propósito de se obter mais eficiência na utilização da irrigação, deve-se considerar, especialmente, o momento em que a planta mais necessita de água. É imprescindível considerar esses aspectos na implementação de sistemas de monitoramento agrometeorológico eficientes, com a finalidade de manejar a cultura dentro do conceito de precisão na agricultura, alocando recursos de produção, como a água, no momento em que as plantas mais necessitam (BERGAMASCHI *et al.*, 2004). Existem alguns empecilhos no emprego da prática da irrigação na cultura do milho. Dentre eles, há argumentos de que esta prática exigiria grande disponibilidade de água, como mananciais, e ainda altos custos de introdução dos sistemas. Entretanto, o fornecimento adequado da irrigação, principalmente próximo do período crítico da cultura é suficiente para que sejam alcançados altos rendimentos de grãos de milho (BERGAMASCHI *et al.*, 2006).

Verifica-se maior eficiência da irrigação para rendimento de grãos e para produção de matéria seca quando o déficit hídrico ocorre no período crítico da cultura (BERGONCI 2001), pois é neste período que ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico, nessas

condições o uso da irrigação torna-se fundamental para atingir a maior eficiência do uso da irrigação, tanto na produção de matéria seca quanto na produtividade de grãos. Deste modo, a irrigação na cultura do milho, antes de considerar a aplicação de uma grande quantidade de água, significa atender à necessidade hídrica no período crítico. Para se alcançar uma produtividade satisfatória à quantidade de água necessária não é muito elevado, o que pode ser interessante em pequenas propriedades, especialmente naquelas propriedades que possuem restrições quanto a mananciais ou equipamento disponível (BERGAMASCHI *et al.*, 2004).

## 2.5 PERÍODO CRÍTICO DO MILHO AO DÉFICIT HÍDRICO

Segundo Matzenauer (2002), é importante o conhecimento dos períodos críticos em que as plantas são mais sensíveis à disponibilidade hídrica, para que assim possibilite a aplicação de práticas de manejo que otimizam o uso da água na agricultura. É essencial avaliar o efeito da deficiência hídrica em períodos mais restritos e precisos, quando o impacto do déficit é mais severo, para que assim evidencie as relações de causa-efeito (BERGAMASCHI *et al.*, 2006). Portanto, é fundamental o conhecimento dos diversos estádios de crescimento da planta de milho com suas respectivas exigências hídricas, desde a sua emergência até a maturidade fisiológica para um eficiente manejo de irrigação (MAGALHÃES *et al.*, 2002). A caracterização do período crítico do milho é importante para a adoção de práticas de manejo adequadas, assim como para dimensionar os impactos de estiagens no rendimento do milho (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014).

O ciclo completo da cultura do milho é extremamente variável, o que vai depender do genótipo utilizado e das condições ambientais ocorridas durante suas fases de desenvolvimento (VARGAS *et al.*, 2006). O sistema de identificação dos estádios fenológicos do milho divide o desenvolvimento da planta em vegetativo (V) e reprodutivo (R) (Tabela 1). Na fase vegetativa, cada estágio é definido de acordo com o número de folhas completamente visíveis. O período reprodutivo inicia-se quando o meristema apical começa a se alongar e o surgimento do primórdio das flores do pendão, isto é, as flores masculinas. Assim, a iniciação do primórdio floral determina o número máximo de folhas expandidas, de nós e inter nós de cada colmo, visto que, a partir daí nenhuma folha poderá se formar após a diferenciação do meristema apical (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014).

**TABELA 1.** Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho

<b>Vegetativo (V)</b>	<b>Reprodutivo (R)</b>
Ve, Emergência	R1, Embonecamento
V1, 1° folha desenvolvida	R2, Bolha d'água
V2, 2° folha desenvolvida	R3, Leitoso
V3, 3° folha desenvolvida	R4, Pastoso
Vn, nª folhas desenvolvida	R5, Formação de dente
Vt, pendoamento	R6, Maturidade fisiológica

Fonte: HAY e POTER, 2006

De acordo com Braccini *et al.* (2006), a cultura do milho possui maiores demandas de água concentradas na fase de emergência, florescimento e formação de grãos. Durante a emergência, assim como o excesso, a falta de água também é prejudicial para alcançar uma boa uniformidade na população de plantas e no estabelecimento da cultura do milho. Insuficiência hídrica significativa durante o período que engloba a floração e o enchimento de grãos promovem alterações fisiológicas nas plantas, o que pode estagnar o crescimento, assim como atrasar o desenvolvimento reprodutivo das plantas. O enrolamento das folhas é maior para carência hídrica aplicada no período de crescimento vegetativo das plantas de milho, o que resulta na redução na interceptação da radiação solar (FLOSS, 2004). A deficiência hídrica durante os estádios vegetativos reduz o teor de clorofila nas folhas, a área foliar, a interceptação de radiação solar, a condutância estomática e a taxa fotossintética, no entanto, os danos são reversíveis (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014). Segundo Bergonci *et al.* (2001), deficiência hídrica que ocorre durante o período vegetativo do milho afeta pouco o rendimento, uma vez que não afeta significativamente a quantidade de grãos por espiga.

No estágio vegetativo, a deficiência hídrica diminui o crescimento do milho, em consequência de reduções da área foliar e da biomassa. No entanto, neste mesmo estágio não estão sendo formados os componentes do rendimento. Sendo assim, os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis, o que será capaz de assegurar níveis adequados de produtividade de grãos (BERGAMASCHI *et al.*, 2004). No início do ciclo da cultura do milho geralmente é coincido com períodos de baixa exigência evaporativa da atmosfera, como também, apresenta baixa demanda hídrica, já que as plantas de milho encontram-se na fase inicial de

desenvolvimento e, conseqüentemente estão com menor índice de área foliar. Portanto, é o período em que foram observados os menores valores de deficiência hídrica. As maiores associações ocorreram durante o período reprodutivo da cultura (MATZENAUER *et al.*, 1995).

O déficit hídrico pode afetar diferentemente as plantas durante os crescimentos vegetativo e reprodutivo (TAIZ *et al.*, 2017). Geralmente os estágios reprodutivos são mais sensíveis ao estresse do que vegetativos, mas diferenças também podem ser encontradas entre diferentes fases do estágio reprodutivo (DUQUE *et al.*, 2013). Resultados estabeleceram que o intervalo que engloba a floração e enchimento de grãos como o período em que o déficit hídrico ocorre maiores prejuízos ao rendimento de grãos de milho (MATZENAUER *et al.*, 1995). Durante essas fases fenológicas a cultura do milho é altamente sensível ao déficit hídrico, em virtude dos processos fisiológicos que estão ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos, juntamente com o aumento da transpiração resultante da máxima área foliar e da alta carga energética oriundo da radiação solar (BERGAMASCHI *et al.*, 2006).

Até mesmo em anos climaticamente favoráveis pode haver redução de rendimento, pois a produtividade de grãos de milho é decorrente das condições hídricas durante o período crítico. Quanto ao milho, associada à variabilidade das condições climáticas, há uma maior sensibilidade da cultura, devido seu período crítico ser curto e bem definido, ou seja, desde a emissão do pendão até o início do enchimento de grãos (BERGAMASCHI *et al.*, 2004).

Tais aspectos enfatizam a necessidade hídrica da cultura do milho e a importância da água nas fases de floração e enchimento de grãos (BRITO *et al.*, 2013). Assim sendo, fornecimento hídrico satisfatório neste período podem garantir ao milho produtividade de grãos em níveis elevados, da ordem de 8.000 kg ha<sup>-1</sup>, o que vai depender do potencial produtivo do genótipo utilizado e se não ocorrer outras limitações de manejo na cultura (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014).

## **2.6 EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO**

Diversos trabalhos têm sido realizados objetivando-se analisar os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento de grãos e de determinar os períodos mais sensíveis à deficiência

hídrica para a cultura do milho. No entanto, os resultados experimentais variam conforme a intensidade e duração, assim como do local, cultivares, tipo de solo (MATZENAUER *et al.*, 1995), estágio de desenvolvimento da cultura (LISAR *et al.*, 2012) da época de ocorrência do déficit e interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (CUNHA e BERGAMASCHI, 1992). O máximo rendimento de grãos de uma cultura é determinado, sobretudo, por suas características genéticas e pelas respostas as condições ambientais predominantes, e ainda pelo manejo de cultivo empregado. A carga genética varia de uma cultivar para outra, deve-se, portanto, dar preferência aos materiais mais adaptados às características edafoclimáticas da região de cultivo (FARIAS, 2011).

Durante a deficiência hídrica, o potencial hídrico ( $\Psi$ ) do apoplasto torna-se mais negativo que o do simplasto, causando reduções no potencial de pressão (turgor) ( $\Psi_P$ ) e no volume (TAIZ *et al.*, 2017). A diminuição da turgescência é a primeira e mais sensível resposta a deficiência hídrica. O metabolismo das proteínas e dos aminoácidos é logo limitado. A síntese de nitrato redutase é uma das sínteses de enzimas mais inibida pela deficiência hídrica. A redução da síntese no metabolismo de proteínas causa a interrupção da divisão celular; mesmo um estresse moderado causado pela seca diminui a velocidade do processo mitótico, sendo a fase S a mais afetada (LARCHER, 2004).

Ligada a esse evento, a diminuição do processo de crescimento, principalmente em extensão é uma das consequências imediatas do déficit hídrico, que causa diminuição da área foliar. O decréscimo na área foliar causa redução da taxa de crescimento da planta, principalmente nos estádios iniciais de crescimento e, como resultado, menor interceptação da radiação solar. Sendo de caráter permanente esse efeito do déficit hídrico sobre a área foliar (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014). O processo da expansão celular é mais afetado pelo déficit hídrico. Em muitas plantas, diminuições no fornecimento hídrico inibem a expansão foliar e o crescimento do caule, no entanto, estimula o alongamento radicular. Um acréscimo considerável nas raízes em relação às folhas é uma resposta adequada a decréscimos na disponibilidade de água; sendo assim, a sensibilidade do crescimento da parte aérea a reduções na disponibilidade de água pode ser associada como uma adaptação à seca em vez de uma restrição fisiológica (TAIZ *et al.*, 2017). Não há processo vital que não seja prejudicado de certa forma pelo decréscimo do potencial hídrico. Como o estresse causado pela insuficiência hídrica se desenvolve gradualmente nas plantas, a relativa

sensibilidade ao estresse das funções afetadas é manifestada por uma sequência de eventos (LARCHER, 2004).

A redução do crescimento e o desenvolvimento causado pela seca, resultando em prejuízos na produção de flores e no preenchimento de grãos. Isso depende do tempo, duração, gravidade e intensidade do estresse. Após o estresse hídrico, os estômatos se fecham progressivamente com um declínio paralelo na fotossíntese líquida (FAROOQ *et al.*, 2009). Se a duração da seca for prolongada, a deficiência hídrica provocará reações fisiológicas e morfológicas na planta, como murchamento de folhas, redução da área foliar, menor estatura da planta, queda de flores, ajustamento osmótico, entre outros, que reduzem a taxa de fotossíntese (FARIAS, 2011). A fotossíntese é um dos processos-chave a serem afetadas pelo déficit de água, por meio de uma diminuição de difusão de CO<sub>2</sub> para o cloroplasto e limitações metabólicas. O impacto relativo dessas limitações varia com a intensidade do estresse, a ocorrência ou não de tensões sobrepostas, e as espécies estudadas (PINHEIRO e CHAVES, 2011). Os processos de fotossíntese e transpiração são extremamente relacionados. A fotossíntese é afetada pelo déficit hídrico pelo efeito do fechamento estomático e pela diminuição da área foliar. O fechamento dos estômatos restringe o fluxo de CO<sub>2</sub> para o interior da folha, simultaneamente em que limita o fluxo de água da folha para a atmosfera, diminuindo a transpiração (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014).

O ácido abscísico (ABA) nas folhas induz o fechamento dos estômatos. Ocorre uma mudança na alocação de assimilados sob a influência de hormônios sintetizados nas folhas e nas raízes em resposta ao déficit hídrico, a relação em termos de crescimento entre a parte aérea e a parte subterrânea é alterada, características morfogênicas específicas se desenvolvem e, geralmente, o processo reprodutivo inicia-se prematuramente. Os processos catabólicos tornam-se predominantes se o nível de desidratação eleva-se, a senescência é acelerada e as folhas mais velhas passam por dessecação e, em seguida, abscisão (LARCHER, 2004).

Já no período crítico da cultura, em que há mais prejuízos no rendimento da cultura, verifica-se que a deficiência hídrica que ocorre anteriormente ao embonecamento reduz a produtividade de grãos em 20 a 30%; no estágio do embonecamento propriamente dito, há uma redução de 40 a 50% e, após esse período, de 10 a 20%. A extensão do período de déficit hídrico também é importante (ALBUQUERQUE e RESENDE, 2002). De acordo com a



Embrapa (1996), apenas dois dias de estresse hídrico durante o período de florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, se prolongado esse período de quatro a oito dias, diminui em mais de 50% o rendimento.

Se o déficit hídrico ocorrer durante o desenvolvimento do pólen, a meiose irá apresentar anomalias cromossômicas e ocorrerão distúrbios principalmente na metáfase e na anáfase. Consequente, a carência hídrica reduz a fertilidade do pólen (LARCHER, 2004). Além de o estresse hídrico poder ocasionar redução na produção e fertilidade do pólen, podem alterar também o sincronismo de florescimento das inflorescências masculinas e femininas (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000). O déficit hídrico, acompanhado de elevadas temperaturas, antecipa a emissão da inflorescência masculina e há atraso no surgimento da inflorescência feminina, aumentando assim o intervalo entre o pendoamento e o espigamento, afetando a polinização e, conseqüentemente, o número de grãos por espiga (MATZENAUER *et al.*, 1995). Muitos programas de melhoramento na produção de milho envolvem a seleção para o intervalo de florescimento das inflorescências masculinas e femininas mais curto, aumentando assim a estabilidade do rendimento sob estresse (HAY e POTER, 2006).

Na fase do florescimento, verifica-se a ocorrência de dessecação dos estilos-estigmas aumentando o grau de protandria, aborto dos sacos embrionários, distúrbios na meiose, morte dos grãos de pólen e aborto das espiguetas, ocasionando em diminuição no rendimento da cultura. Já o déficit hídrico durante o enchimento de grãos, ocorre redução na produção de fotoassimilados e sua translocação para os grãos, devido ter afetado os processos básicos no metabolismo da planta e o fechamento de estômatos, resultando na diminuição da taxa fotossintética (CRUZ *et al.*, 2006). De acordo com Bergamaschi *et al.*, (2004), o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga e são os componentes da produção de grãos mais prejudicados pela deficiência hídrica, quando este ocorre durante o período crítico. Em vista deste conjunto de implicações, ressalta-se, portanto, a elevada sensibilidade do milho ao déficit hídrico desde o florescimento ao início de formação de grãos.

## 2.7 MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SECA

O mecanismo de tolerância à seca é complexo, envolvendo processos fisiológicos e bioquímicos nos níveis de células, tecidos, órgãos e plantas inteiras, dependendo do estágio de desenvolvimento da planta (FAROOQ *et al.*, 2009). A capacidade de algumas plantas em apresentar um maior rendimento econômico sob a carência de água do que outras é uma característica genética não muito clara. Isso ocorre porque a severidade, a época e a duração da seca variam de ano para ano, e as cultivares bem-sucedidas em um ano seco podem falhar em outro. Vale ressaltar ainda que, a seca raramente ocorre isoladamente; frequentemente interage com outros estresses abióticos, principalmente à alta temperatura, e com estresse biótico. Além de que, as áreas com alto risco de seca normalmente possui agricultura com baixo nível tecnológico (PASSIOURA, 1996). Todas as plantas possuem certa tolerância ao estresse hídrico, mas a extensão varia de espécie para espécie, e ainda, de cultivar para cultivar (LISAR *et al.*, 2012). Para ter sucesso, as plantas têm múltiplos mecanismos para responder e se adaptar a condições ambientais adversas (MADABULA *et al.*, 2016), pois sob condições de estresse hídrico otimizam a morfologia, fisiologia e metabolismo de seus órgãos e células, com a finalidade de maximizar a produtividade (LISAR *et al.*, 2012).

As limitações causadas pela alta demanda evaporativa ou pela baixa disponibilidade de água do solo ativam certos mecanismos que permitem aos vegetais escapar ou tolerar essas restrições climáticas, modificando seu crescimento e desenvolvimento, a fim de amenizar as reduções na produção final (MAGALHÃES *et al.*, 2002). De acordo com Lisar *et al.* (2012), a tolerância ao estresse na planta é dividida em duas categorias: tolerância ao estresse e prevenção de estresse. Prevenir ou evitar a seca é a capacidade da planta de manter um alto potencial de água nos tecidos, normalmente, é alcançado por meio de alterações morfológicas na planta, tais como redução da condutância estomática, diminuição da área foliar, desenvolvimento de extensos sistemas radiculares e aumento da razão entre a raiz e a parte aérea. Enquanto a tolerância à seca é a estabilidade de uma planta para manter suas funções normais mesmo com baixos potenciais de água nos tecidos, é alcançada por mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares específicos de células e tecidos, que incluem expressão gênica específica e acúmulo de proteínas específicas.

Quando a planta está sujeita a ocorrência de deficiência hídrica, esta recorre a estratégias para diminuir os efeitos causados pela seca, utilizando assim os mecanismos de tolerância, como o ajuste osmótico, para que a célula absorva água e mantenha o potencial de pressão em níveis adequados. Uma dessas estratégias é a diminuição do potencial osmótico, resultando em uma concentração passiva de solutos, resultado da desidratação da célula, ou da acumulação ativa de solutos, sendo esta considerada como ajuste osmótico. Para cada cultura existe uma variação na habilidade de ajuste osmótico, e isso deve ser considerado ao medir a capacidade da cultura em suportar a seca (MORANDO *et al.*, 2014). Outros mecanismos que colaboraram para a tolerância ao déficit hídrico e que já têm sido avaliados em programas de melhoramento genético destacam-se a maior relação entre raiz e parte aérea ou sistema radicular extenso; pequeno tamanho de células; cutícula foliar com maior espessura e cerosidade; comportamento e frequência estomática; mudanças no ângulo foliar; acúmulo de metabólito intermediário; tolerância à desidratação das células (MAGALHÃES *et al.*, 2002).

Para combater o estresse hídrico, as plantas aumentam o potencial osmótico de suas células, sintetizando e acumulando osmólitos, como a prolina e a glicina betaína, que participam do ajustamento osmótico. Acredita-se que osmólitos funcionem como osmoprotetores para proteínas (JALEEL *et al.*, 2007). Segundo Sodek (2013) é observado nas plantas em condições de estresse hídrico apresentam elevados teores de prolina em comparação com plantas em condições normais. Esse fenômeno está relacionado com um mecanismo de proteção contra ambientes que apresentam carência de água, pois a prolina ajuda a baixar o potencial hídrico dos tecidos e, assim, reter água.

O ácido abscísico pode ser produzido nas raízes e/ou brotações, porém, geralmente esse hormônio é sintetizado sob deficiência hídrica nas raízes e conduzido para as folhas, com a finalidade de melhorar o controle estomático. O aumento progressivo da concentração de ABA nas plantas durante o estresse está relacionado ao mecanismo estomático, pois esse hormônio, sob essas condições, provoca o fechamento estomático (TAIZ *et al.*, 2017). A planta de milho tende a fechar os seus estômatos em condição de estresse hídrico no sentido de minimizar a perda de água e manter a turgescência, no entanto, vem a refletir na formação de carboidratos na fotossíntese e no acúmulo em fitomassa na planta, principalmente do caule (BRITO *et al.*, 2013).

A razão entre as biomassas da raiz e da parte aérea é outro exemplo importante de plasticidade fenotípica. O ABA desempenha um papel fundamental na regulação da razão raiz e parte aérea durante períodos de deficiência hídrica. A razão entre a raiz e da parte aérea aumenta, permitindo que as raízes cresçam às expensas das folhas, portanto o ABA é indispensável para que ocorra a mudança na razão entre a biomassa raiz e parte aérea. A parte aérea da planta tende a crescer até que a absorção de água pelas raízes se torne limitante ao crescimento; inversamente, as raízes tendem a crescer até que sua demanda por fotossintatos provenientes da parte aérea ultrapasse o suprimento. Quando a alocação de água para a parte aérea se torna limitante, é reduzida a expansão foliar antes que a atividade fotossintética seja prejudicada. A inibição da expansão foliar diminui o consumo de energia e carbono, e uma maior quantidade de assimilados da planta pode ser translocado para o sistema subterrâneo, onde podem dar sustento para continuar o crescimento das raízes (TAIZ *et al.*, 2017).

A eficiência de absorção de água é muito dependente do volume de solo explorado e pela superfície de contato das raízes com o solo. Apesar do volume, o peso e comprimento de raízes serem características genéticas de cada espécie, ela pode ser alterada por diversas características do solo, como disponibilidade de nutrientes, acidez, permeabilidade do solo, e especialmente pelo conteúdo de água. Existe uma relação positiva e direta entre o volume de solo explorado pelas raízes e quantidade de água absorvida pela planta. Quanto maior for a profundidade explorado pelo sistema radicular e mais finas e fasciculadas as raízes, maior será a tolerância das plantas à seca (FLOSS, 2004).

O desempenho do milho é influenciado por muitos fenômenos arquiteturais, anatômicos e morfológicos do sistema radicular que influenciam a distribuição radicular e a aquisição de recursos hídricos do solo, incluindo número de raízes da coroa, raízes superficiais, ângulo de raiz da copa, profundidade de raízes, ramificação lateral, área cortical ativa, tamanho das células corticais, número de células corticais e pêlos radiculares (YORK *et al.*, 2015). O alongamento satisfatório das raízes é importante para o crescimento das plantas, especialmente em solos onde os recursos de água e nutrientes são escassos. As raízes se alongam mais lentamente em solos que possuem carência hídrica graças a uma combinação de estresse hídrico e impedimento mecânico (BENGOUGH *et al.*, 2011).

As características do sistema radicular em relação à capacidade de aquisição de água devem ser uma das primeiras informações a serem procuradas, para o estudo da habilidade

de uma planta em tolerar a carência de água (PIMENTEL, 2004). A arquitetura do sistema radicular é um fator importante que determina a capacidade das plantas de acessar a umidade do solo em ambientes propensos à seca, particularmente em cereais como sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), milho (*Zea mays* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.), que são frequentemente cultivadas em tais ambientes. Das muitas características que constituem a arquitetura do sistema radicular, o ângulo de crescimento das raízes seminais e nodais no estágio de plântula tem implicações importantes para a adaptação à seca de plantas de cereais adultas (JOSHI *et al.*, 2017). Para a maioria dos genótipos de milho, o desenvolvimento radicular é proporcional à disponibilidade de água. Esse aumento também se reflete no aumento do rendimento de grãos, motivo pela qual a cultura é conhecida como exigente em água (FLOSS, 2004).

O ângulo radicular determina a direção de exploração, horizontal ou vertical, nos estratos do solo, e atua como uma característica adaptativa para evitar a seca em diversas culturas, que é utilizado para correlacionar com a profundidade total de enraizamento. Estudos genéticos em ângulo de raiz revelaram ter alta herdabilidade entre os ambientes, com um ângulo de raiz mais estreito maior será a exploração do solo pelas raízes para acessar água em profundidade no solo durante períodos de seca (VALLIYODAN *et al.*, 2017). Vários trabalhos já utilizaram o método de “*Shovelomics*” proposto por Trachsel (2011) que consiste no processo de escavação, lavagem e avaliação das características das raízes, incluído o ângulo de raiz, em milho (*Zea mays*), estudado por York e Lynch (2015), Mori *et al.* (2016), avaliaram raízes de arroz (*Oryza sativa*) na aquisição de fósforo, York *et al.* (2015), por meio da seleção indireta, avaliaram a competição das raízes de 16 variedades antigas de milho pela busca por nitrogênio, Wasson *et al.* (2014) em variedades de trigo quantificaram a variação em características de raízes profundas para selecionar genótipos para o melhoramento, Burridge *et al.* (2016) em leguminosas, avaliaram a arquitetura de raiz de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* subsp, *unguiculata*) no campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P. de; RESENDE, M. **Cultivo do milho: manejo de irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 8p. (Comunicado técnico, 47)
- AVILA, R. G. **Relação entre raízes, metabolismo antioxidante e aba na fotossíntese e produtividade do milho sob déficit hídrico**. 2015. 53p. Dissertação (Mestrado em fisiologia vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2015.
- BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE; T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits, **Journal of Experimental Botany**, v.62, n. 1, 2011, p.59–68.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p.243-249, 2006.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. **Porto Alegre: Emater/RS-Ascar**, p. 11, 2014.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p.949-956, 2001.
- BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P. Cultivares transgênicos. In: GALVÃO, J. C.C.; MIRANDA, G.V. (Eds), **Tecnologias de Produção do Milho**. Editora: UFV- Universidade Federal de Viçosa, 2004, Cap. 3, p.85-108.
- BRACCINI, A. L.; ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R.; SCAPIM, C. A.; LANA, M. C.; MINUZZI, A.; STULP, M. Rendimento de sementes produzidas na sucessão soja-milho safrinha na região noroeste do Paraná. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 5, n.1, p33-45. 2006.
- BRITO, M. E. B. *et al.* Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Biosci. J.** Uberlândia, v 29, n. 5, p1244-1254, set./oct. 2013.
- BURRIDGE J.; JOCHUA, C.N.; BUCKSCHC, A.; LYNCH, J.P. Legume shovelomics: high-throughput phenotyping of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata*) root architecture in the field. **Field Crops Research**. v.192, p.21–32. 2016.

CÂMARA, T. M. M.; BENTO, D. A. V. ALVES, G. F.; SANTOS, M. F.; MOREIRA, J. U. V. SOUZA JÚNIOR, C. L. de; Parâmetros genéticos de caracteres relacionados à tolerância à deficiência hídrica em milho tropical. **Bragantia**, Campinas v.66, n.4, p.595-603, 2007.

CASTRO, P. R. C.; KLUNGE, R. A. ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz e mandioca. São Paulo: **Nobel**, 1999. 126p.

COELHO, H. A. **Diferentes condições de estresse hídrico no desenvolvimento de milhos transgênico e convencional**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Décimo segundo levantamento, setembro 2018, v. 5, n. 12, 2018.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular técnica, 87).

CUNHA, G. R. da; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1992. p. 85-97.

DUQUE, A. S.; ALMEIDA, A. M. de.; SILVA, A. B. da.; SILVA, J. M. da.; FARINHA, A. P.; SANTOS, D.; FEVEREIRO, P.; SOUSA, A. S. de. Abiotic Stress Responses in Plants: Unraveling the Complexity of Genes and Networks to Survive. In.: Vahdati, K. Abiotic Stress. **Intech Open**. p.49-101. 2013.

DURÃES, F. O. M. Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1., 2006, Belo Horizonte, Inovação para sistemas integrados de produção: trabalhos apresentados.[Sete Lagoas]: ABMS, 2006., 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 204p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Physiology of crop production. New York: **Food Products Press**, 2006. 345p

FARIAS, J. R. B. **Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja**. Quinto congresso de la soja del Mercosur. 2011. 4 p.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; LEE, D. J.; ITO, O.; SIDDIQUE, K. H. M. Advances in Drought Resistance of Rice. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 28, n. 4. p.199-217. 2009.

FANCELLI, A. L.; DORADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. Passo Fundo: UPF, 2004. 536p.

GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. de O. Importância do milho em Minas Gerais. In.: Cultivo do milho no sistema plantio direto. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.27, n.233, p. 7-12, 2006.

GONÇALVES, R. A. *et al.* Rendimento e composição química de cultivares de milho em moagem a seco e produção de grãos. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 643-650, 2003.

HAY, R. K. M.; POTER, J. R. The physiology of crop yield. 2ed. Oxford: **Blackwell publishing Ltd.** 2006. 314p.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; SANKAR, B.; KISHOREKUMAR, A.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. **Colloids and surfaces B: Biointerfaces**, v. 60, n. 1, p. 110-116, 2007.

JOSHI, D. C. *et al.* Development of a phenotyping platform for high throughput screening of nodal root angle in sorghum. **Plant methods**. 2017. 12p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de: Carlos Henrique Britto de Assis Prado. Sao Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. In: RAHMAN, I. M. M. Water Stress. **IntechOpen**, p.1-14. 2012

MACHADO, E. C.; FURLANI, P. R. Deficiência hídrica no consumo de água de dois cultivares de milho crescidos em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, 44 (1):493-504, 1985. 12p.

MADABULA, F. P. *et al.* Rice genotypes for drought tolerance: morphological and transcriptional evaluation of auxin-related genes. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 4, p.428-434, 2016.

MAGALHÃES, P. C. *et al.* **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. p.23 (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 22).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. Sete Lagoas - MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p.

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

MATZENAUER, R. *et al.* Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.



MATZENAUER, R. *et al.* **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 104 p. (BOLETIM FEPAGRO, 10)

MORANDO, R. *et al.* Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, p. 114-129, 2014.

MORI, A. *et al.* The role of root size versus root efficiency in phosphorus acquisition in rice, **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.4, p.1179–1189, 2016.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho.** Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

PASSIOURA, J. B. Drought and drought tolerance. In: BELHASSEN, E. Drought Tolerance in higher plants: genetical, physiology and molecular biological analysis. UFR Genetique et amelioration des plantes. **Plant Growth regulation**, v. 20, n. 2, 1996. p.79-83.

PATERNIANI, E.; NASS, L.L.; SANTOS, M. X. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil- uma abordagem historica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C. V.; DUARTE, W (Org.). **Uma historia brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos.** Brasilia: Paralelo 15, 2000. p.11-41.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v.62, p.869 882, 2011.

PIMENTA, J. A. Relações hídricas. In.: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal.** 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água.** Seropédica, RJ: Edur, 2004. 191p

ROMANO, M. R. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento.** 2005. 120p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SAIN, D.; PAWAN, A.; MEENAKUMARI; DHARAMPAL, 2001, Morphological traits determining drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). **Indian J. Agric. Res.**, 39(2): 180-185.

SEAPA - **Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais.** Milho. Belo Horizonte: SEAPA. 2019, Acesso em janeiro de 2019, Disponível em: <<http://www.agricultura.mg.gov.br>>

SILVA, A. A da.; VARGAS, L.; WERLANG, R. C. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologias de produção de milho.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. Cap.8, p.269-310

SILVA, W. J. da.; SANS, L. M. A.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Exigências Climáticas do milho em sistema plantio direto. In.: Cultivo do milho no sistema plantio direto. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.27, n.233, p. 14-25, 2006.

SODEK, L. Metabolismo do Nitrogênio. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

SOUZA, P. M.; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologias de produção de milho**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. Cap.1, p.13-56.

SOUZA, M. C.; HABERMANN, G. Towards a new ecophysiological approach to understand citrus crop yield under abiotic stresses mirroring in the brazilian savanna genetic resources. In.: Rahman, I. M. M. Water Stress, **Intech Open**, 2012. p.151-164.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, F. F.; GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T.; LEITE, C. E. P.; PARENTONI, S. N.; GUIMARÃES, P. E. O.; GUIMARÃES, L. J. M.; SILVA, A. R.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. Evaluation of maize core collection for drought tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, n.4, p.312-320, 2010.

TRACHSEL, S.; KAEPLER, S. M.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field. **Plant and Soil**, v. 341, n. 1-2, p. 75-87, 2011.

USDA. United States Department of Agriculture. **Grain: World Markets and trade**. December, 2018. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain-corn-coarsegrains.pdf>>

VALLIYODAN, B. *et al.* Genetic diversity and genomic strategies for improving drought and waterlogging tolerance in soybeans. **Journal of Experimental Botany**. v.68, n.8, 2017, p.1835–1849.

VARGAS, L.; PEIXOTO, C. M.; ROMAN, E. S. **Manejo de plantas daninhas na cultura do milho**. Passo Fundo: Embrapa trigo, 2006. 20p. (Documentos online, 61)

WASSON, A. P. *et al.* Soil coring at multiple field environments can directly quantify variation in deep root traits to select wheat genotypes for breeding. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n.21, p.6231–6249, 2014.

YORK, L. M. *et al.* Evolution of US maize (*Zea mays* L.) root architectural and anatomical phenes over the past 100 years corresponds to increased tolerance of nitrogen stress. **Journal of Experimental Botany**, v.66, n.8, p. 2347–2358, 2015.

YORK, L. M.; LYNCH, J. P. Intensive field phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root crowns identifies phenes and phene integration associated with plant growth and nitrogen acquisition. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 18, p.5493–5505, 2015.

## **CAPÍTULO I**

### **INDICADORES MORFOFISIÓLOGICOS DE HÍBRIDOS DE MILHO CULTIVADOS COM E SEM RESTRIÇÃO HÍDRICA**

## RESUMO

Objetivou-se selecionar indicadores morfofisiológicos relacionados à tolerância de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica. O estudo foi realizado na Fazenda experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Nova Porteirinha-MG no ano de 2017. Foram realizados, simultaneamente, dois experimentos de campo, um com e outro sem restrição hídrica. No experimento sem restrição hídrica, foi feita a irrigação da cultura normalmente, até atingir a maturidade fisiológica dos grãos. Já no experimento com restrição hídrica, a irrigação foi estabelecida do período de pré-florescimento até o final do ciclo da cultura. Em cada um dos experimentos os tratamentos foram quatro híbridos de milho (BRS 1010, BRS 1040, BRS 1055 e DKB 390). Os experimentos foram instalados em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por quatro fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,8 m entre si. As variáveis avaliadas foram: teor relativo de clorofila (SPAD), fluorescência da clorofila (Fv/Fm), condutância estomática (Gs), ângulo radicular (AR) e o índice de área foliar (IAF). Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta dos experimentos (com e sem restrição hídrica) e quando significativos pelo teste F ( $p < 0,05$ ), as médias dos híbridos foram comparadas pelo teste Tukey a um nível de 5% de significância, utilizando o programa estatístico SISVAR versão 5.6. A restrição hídrica apenas não influenciou no Gs e AR. As variáveis de SPAD, Fv/Fm e IAF são bons indicadores morfofisiológicos para seleção de milho tolerantes à seca.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, tolerância à seca, estresse abiótico, *shovelomics*, BRS1040, BRS 1010, DKB 390 e BRS 1055.

## ABSTRACT

The objective was to select morphophysiological indicators related to the tolerance of corn hybrids in environments with and without water restriction. The study was carried out at the Experimental Farm of Embrapa Milho and Sorgo, in Nova Porteirinha-MG in the year 2017. Two field experiments were carried out simultaneously, one with and without water restriction. In the experiment without water restriction, the culture was irrigated normally, until reaching the physiological maturity of the grains. In the experiment with water restriction, irrigation was established from the pre-flowering period until the end of the crop cycle. In each of the experiments the treatments were four corn hybrids (BRS 1010, BRS 1040, BRS 1055 and DKB 390). The experiments were installed in a randomized complete block design with four replications. Each experimental plot was composed of four rows of 5 m in length, spaced 0.8 m apart. The variables evaluated were: relative chlorophyll content (SPAD), chlorophyll fluorescence (Fv/Fm), stomatal conductance (Gs), root angle (AR) and leaf area index (LAI). The data were submitted to analysis of the combined variance of the experiments (with and without water restriction) and when significant by the F test ( $p < 0.05$ ), the means of the hybrids were compared by the Tukey test at a 5% level of significance, using the statistical program SISVAR version 5.6. The water restriction did not influence Gs and RA alone. The variables of SPAD, Fv/Fm and LAI are good morphological indicators for selection of drought tolerant maize.

**Keywords:** *Zea mays*, drought tolerance, abiotic stress, *shovelomics*, BRS 1040, BRS 1010, DKB 390 and BRS 1055.

## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das gramíneas de maior importância econômica do mundo, sendo cultivado em vários países. Rico em carboidratos, o milho é utilizado para alimentação humana e principalmente para alimentação de animais, especialmente na avicultura e suinocultura.

Os estados brasileiros maiores produtores de milho são o Mato Grosso, Paraná, Goiás e Minas Gerais. Sendo assim, o Estado de Minas Gerais corresponde ao quarto estado maior produtor de grãos de milho, em que a cultura ocupou uma área plantada de aproximadamente 1,16 milhões de hectares, sendo responsável por uma produtividade em torno de 6,082 t ha<sup>-1</sup>, na qual, vale destacar a superioridade à da média brasileira na safra 2017/18 (CONAB, 2018). Dados da agricultura indicam que mais de 60% da variabilidade na produtividade das culturas pode ser explicada pelas flutuações no clima. Mais de 55% das causas de perdas de colheitas podem ser identificadas como déficits hídricos no solo (SOUZA e HABERMANN, 2012).

O déficit hídrico pode afetar diferentemente as plantas durante os crescimentos vegetativo e reprodutivo (TAIZ *et al.*, 2017). Geralmente os estádios reprodutivos são mais sensíveis ao estresse do que os vegetativos, mas diferenças também podem ser encontradas entre diferentes fases do estágio reprodutivo (DUQUE *et al.*, 2013). Resultados disponíveis na literatura estabeleceram o intervalo que engloba a floração ao início do enchimento de grãos como o período em que o déficit hídrico causa mais prejuízos ao rendimento de grãos de milho. Durante essas fases fenológicas, a cultura do milho é altamente sensível ao déficit hídrico, em virtude dos processos fisiológicos que estão ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos, juntamente com o aumento da transpiração resultante da máxima área foliar, da alta carga energética oriundo da radiação solar e da alta demanda hídrica exigida pela cultura (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014; BERGAMASCHI *et al.*, 2006).

A seca é uma limitação importante para a produção de culturas sustentáveis em todo o mundo porque afeta concomitantemente um variado número de características fisiológicas e morfológicas nas plantas. As características correlacionadas com a tolerância à seca são indicadores adequados para a seleção de híbridos tolerantes à seca em programas de melhoramento para reduzir o impacto do déficit hídrico no rendimento da cultura (SILVA

*et al.*, 2008). O uso de parâmetros fisiológicos como indicadores dos estresses é muito frequente nas pesquisas atuais (CARLIN *et al.*, 2012).

O melhoramento do milho em relação à restrição hídrica tem trazido excelentes resultados e grandes avanços em estudos. No entanto, ainda é pouco conhecido sobre os mecanismos fisiológicos e morfológicos em relação à tolerância à seca. Sendo assim, o entendimento dos processos morfofisiológicos responsáveis pelo comportamento diferencial de híbridos em condições de estresse hídrico contribui para seleção de ferramentas e que pode favorecer na geração de novos materiais genéticos (QUEIROZ, 2010).

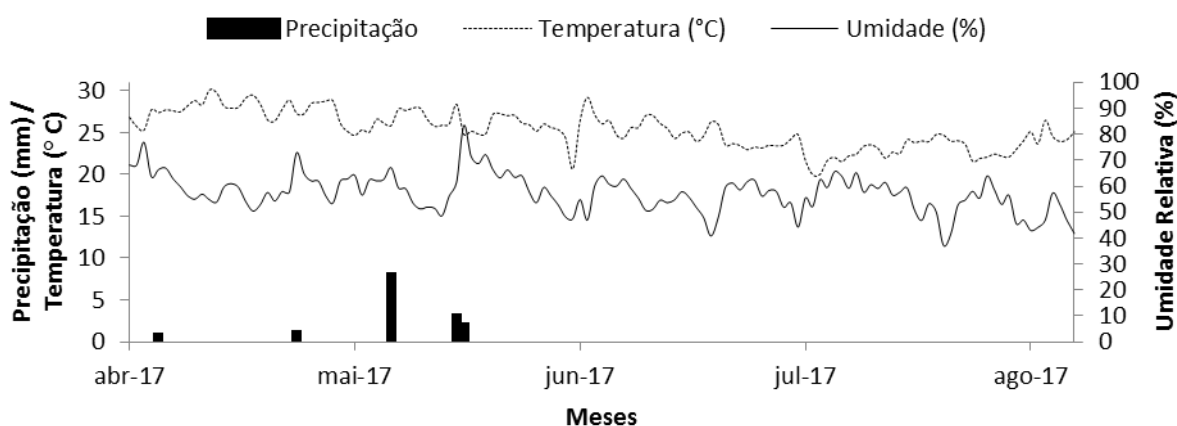
Diante do exposto, objetivou-se com este estudo selecionar indicadores morfofisiológicos relacionados à tolerância de híbridos contrastantes de milho em ambientes com e sem restrição hídrica.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda experimental da Embrapa Milho e Sorgo, município de Nova Porteirinha, Norte de Minas Gerais. A área experimental está situada no projeto Gortuba, com coordenadas geográficas correspondentes a latitude 15°45'25.5"S e longitude 43°16'53.2"W, e na altitude de 524 m. O clima da região, conforme classificação de Köppen é do tipo "Aw" (tropical com estação seca).

O estudo foi conduzido entre os meses de abril (05/04) a agosto (09/08) de 2017. A precipitação acumulada durante o período experimental foi de 14,20 mm, com temperatura máxima média de 26,2 °C e mínima média de 24,5 °C e umidade relativa média de 60 % (INMET, 2018). As condições meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento estão apresentadas na Figura 1, visto que os dados foram coletados a cerca de 100 metros do local.



**FIGURA 1.** Características climáticas de temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação pluvial (mm) registrada durante o período de condução do experimento. Nova Porteirinha, MG (2017).

O solo no local é um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. A análise química realizada na camada de 0-20 cm apresentou os seguintes resultados: pH: 5,8; matéria orgânica: 1,6%; P: 18,1 mg dm<sup>-3</sup>; K: 302,5 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 2,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 0,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al: 0,06 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Cu: 0,77 mg dm<sup>-3</sup>; Fe: 11,6 mg dm<sup>-3</sup>; Zn: 4,1 mg dm<sup>-3</sup> e Mn: 16,0 mg dm<sup>-3</sup>.

## 2.1 Delineamento experimental e tratamentos

Foram conduzidos dois ensaios de campo, um com restrição hídrica e outro sem restrição hídrica. Em cada um dos ensaios foram avaliados quatro híbridos de milho, sendo dois susceptíveis (BRS 1010 e BRS 1040) e dois tolerantes ao déficit hídrico (BRS 1055 e DKB 390). As principais características dos híbridos utilizados no estudo estão descritas na tabela 1. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por quatro fileiras de milho com 5 m de comprimento, espaçadas de 0,8 m entre si, perfazendo área total de 16,0 m<sup>2</sup>. Para avaliação do experimento, foram consideradas as duas linhas centrais de cada parcela, perfazendo uma área útil de 8 m<sup>2</sup>.

**TABELA 1.** Descrição dos híbridos de milho cultivados com e sem restrição hídrica, em Nova Porteirinha, MG.

CARACTERÍSTICAS	HÍBRIDOS			
	BRS 1010	BRS 1055	DKB 390	BRS 1040
<b>Tipo</b>	Híbrido Simples	Híbrido Simples	Híbrido Simples	Híbrido Simples
<b>Ciclo</b>	Precoce	Semiprecoce	Precoce	Semiprecoce
<b>Altura média da planta</b>	198 cm	238 cm	220 cm	218 cm
<b>Altura média da espiga</b>	100cm	126 cm	125 cm	112 cm
<b>Resistência ao acamamento</b>	Alta	Alta	Alta	Alta
<b>Resposta ao déficit hídrico</b>	Sensível	Tolerante	Tolerante	Sensível
<b>Cor do grão</b>	Laranja	Avermelhado	Amarelo-alaranjado	Alaranjado
<b>Tipo de grão</b>	Semiduro	Semidentado	Duro	Semidentado
<b>Nível de tecnologia</b>	Média a alta	Média a alta	Alto	Média a alta
<b>Empresa/Instituição</b>	Embrapa	Embrapa	Dekalb	Embrapa

## 2.2 Instalação e condução do experimento

O preparo do solo foi feito de forma convencional, com uma aração e uma gradagem em pré-plantio, e posteriormente foi feito o sulcamento da área. A semeadura do milho foi realizada no dia cinco de abril de 2017, feita manualmente, colocando-se duas sementes por cova a uma distância de 0,2 m entre plantas e 0,8 m entre fileiras. O desbaste do excesso de

plantas foi efetuado quando estas apresentavam de três a quatro folhas totalmente expandidas, deixando-se apenas uma planta por cova, totalizando uma população de 62.500 plantas por hectare.

A adubação foi feita de acordo com a necessidade da cultura e análise química do solo, utilizando 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 (NPK) mais Zn aplicado no sulco de plantio. A adubação de cobertura foi feita utilizando 120 kg ha<sup>-1</sup> de N no estágio fenológico V6, com seis folhas totalmente expandidas, aplicando-se ureia como fonte de N. Os tratos culturais constituíram-se de capinas manuais e aplicações de produtos químicos recomendados para a cultura para o controle de pragas e doenças, quando necessário.

Utilizou-se irrigação por sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores espaçados 12 x 12 m, pressão de serviço de 250 kPa, bocais de 4,0 x 2,6 mm de diâmetro e com vazão de 1,6 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. As parcelas experimentais foram irrigadas mantendo-se sempre a umidade do solo próximo da capacidade de campo, até a imposição da restrição hídrica para o respectivo ambiente.

O experimento sem restrição hídrica foi irrigado normalmente até a maturação fisiológica dos grãos (R6), com término da irrigação em 12 de junho. Nesse ambiente, foi consumida no total uma lâmina de 734,2 mm. Já o experimento com restrição hídrica, a irrigação foi cessada no início do período de pré-florescimento, ou seja, a aplicação da restrição hídrica foi realizada em torno do estágio V14, com 14 folhas completamente expandidas, em 22 de Maio permanecendo até o término do ciclo da cultura. No total foi utilizada uma lâmina de água de 594,2 mm no ambiente com restrição hídrica.

### **2.3 Características avaliadas**

As seguintes variáveis fisiológicas e de crescimento foram avaliadas: teor relativo de clorofila, condutância estomática, fluorescência da clorofila, área foliar, índice de área foliare ângulo radicular.

O teor relativo de clorofila (SPAD) foi medido com auxílio de um medidor portátil de clorofila, o clorofilômetro (modelo SPAD 502, Minolta, Japan). Realizou-se a medição no terço médio da folha localizada logo acima da inserção da espiga, foi feito a média de cinco leituras por planta, sendo feito esse procedimento em três plantas por parcela. O

clorofilômetro fornece leituras que se correlacionam com o teor de clorofila presente na folha, é um método não destrutivo, rápido e simples, feito diretamente em campo.

As leituras da condutância estomática (Gs) foram feitas na primeira folha totalmente expandida, cerca de cinco leituras por folha realizadas entre as 8 e 10 h da manhã, devido ser considerado um horário em que a abertura estomática não é limitada pela luz e condições atmosféricas. Foram determinadas com o uso de um porômetro LICOR-1600, (“Steady State Porometer”). Os dados foram expressos em  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

A fluorescência da clorofila (relação  $F_v/F_m$ ) foi obtida por meio de um fluorímetro (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Instruments King’s Lynn, UK), em que foi determinado no terço médio de folhas adaptadas ao escuro de três plantas por parcela.

O índice de área foliar (IAF,  $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$ ) médio de cada planta foi calculado de acordo com a equação:

$$\text{IAF} = \frac{\text{AF}}{\text{ASolo}} \dots\dots\dots (\text{Equação 1})$$

Sendo que, “AF” é a área foliar verde da amostra, dado em  $\text{cm}^2$ , “ASolo” a área do terreno ocupada pela amostra, em  $\text{cm}^2$ .

Para a avaliação do ângulo radicular (AR), foi determinado pelo método de “shovelomics”, desenvolvido por Trachsel *et al.* (2011), em que, no final do ciclo da cultura, horas antes da amostragem, o campo foi irrigado para facilitar a escavação de três plantas de milho por parcela em uma profundidade em torno de 30 cm, coletou-se as coroas radiculares e removeu-se o excesso de solo e posteriormente as raízes foram lavadas. O ângulo de raízes foi então mensurado com auxílio de um transferidor em acrílico, medindo-se o ângulo de inserção das primeiras raízes basais.

## 2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análises de variância individuais e conjunta dos experimentos (com e sem restrição hídrica), e quando significativas pelo teste F ( $p < 0,05$ ), as diferenças entre as médias dos híbridos foram comparadas pelo teste Tukey a um nível de 5% e 1% de significância, com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para as variáveis fisiológicas teor relativo de clorofila (SPAD), condutância estomática (Gs), fluorescência da clorofila (Fv/Fm), índice de área foliar (IAF) e medida do ângulo radicular (AR) estão apresentados na tabela 2. Houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) do ambiente para as variáveis SPAD, Fv/Fm e IAF. Somente foi observada interação significativa ( $p < 0,01$ ) entre os ambientes e híbridos (A\*H) para o SPAD. Apenas houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da fonte de variação híbrido para o IAF. Não houve efeito significativo ( $p \geq 0,05$ ) das fontes de variação para a condutância estomática (Gs) e ângulo radicular (AR).

**TABELA 2.** Resumo da análise de variância (valores de probabilidade) para teor relativo de clorofila (SPAD); condutância estomática (Gs), fluorescência da clorofila (razão Fv/Fm), índice de área foliar (IAF) e ângulo radicular (AR) em híbridos de milho submetidos a ambientes com e sem restrição hídrica, Nova Porteirinha – MG, 2017.

Fontes de Variação	GL	Valores de P				
		SPAD	Gs	Fv/Fm	IAF	AR
Ambiente (A)	1	0,0000 <sup>**</sup>	0,7804 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,1968 <sup>ns</sup>
Híbridos (H)	3	0,0633 <sup>ns</sup>	0,6951 <sup>ns</sup>	0,2286 <sup>ns</sup>	0,0014 <sup>**</sup>	0,2016 <sup>ns</sup>
Interação (A*H)	3	0,0081 <sup>**</sup>	0,7527 <sup>ns</sup>	0,4239 <sup>ns</sup>	0,1158 <sup>ns</sup>	0,4421 <sup>ns</sup>
Bloco (Ambiente)	6	0,0052	0,094	0,0161	0,0214	0,0802
Erro	18					
Média geral		51,21	48,91	0,76	4,14	41,24
CV (%)		6,43	34,25	6,2	9,33	18,11

<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>ns</sup> Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

O ambiente sem restrição hídrica apresentou maiores valores para a variável SPAD, com valores variando entre 52,90 a 60,40 (Tabela 3). Sendo que, o híbrido DKB 390 apresentou maior valor de teor de clorofila em relação ao BRS 1055. Segundo Vargas *et al.* (2012) em cada estágio fenológico da cultura do milho há uma faixa de leituras do teor de clorofila. Argenta *et al.* (2001), recomendam para a cultura do milho que os valores adequados de N no estágio de espigamento situam-se na faixa SPAD de 58 a 62. O presente trabalho apresentou valores dentro da faixa ou próximo do ideal no ambiente com irrigação plena. No entanto, foi observado que no ambiente com restrição hídrica, todos os híbridos

apresentaram valores de SPAD inferiores à faixa ideal e também ao ambiente sem restrição hídrica.

**TABELA 3.** Médias do teor de clorofila (SPAD) nas folhas de híbridos de milho cultivados em ambientes com e sem restrição hídrica. Nova Porteirinha – MG, 2017.

Variáveis	Restrição hídrica	Híbridos			
		BRS 1040	BRS 1010	DKB 390	BRS 1055
SPAD	Sem	56,58 aAB	58,13 aAB	60,40 aA	52,90 aB
	Com	48,50 bA	47,90 bA	40,86 bB	44,44 bAB

Médias seguidas por letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste F a um nível de 5% de significância.

Uma redução foi observada no teor de clorofila em 14.28, 16.0, 32.0 e 17.6% em relação ao ambiente sem restrição hídrica para os híbridos BRS1040, BRS1055, DKB390 e BRS1010, respectivamente. Diferenças nos teores de clorofilas e carotenoides são comuns em plantas expostas a estresse ambiental (CUZZUOL e CLIPPEL, 2009). Esta variável fisiológica é uma boa indicadora dos efeitos ocasionados pela deficiência hídrica. A diminuição gradual dos teores de clorofila causada pelo estresse hídrico é um dos principais fatores que limitam a atividade fotossintética o que compromete a produtividade da cultura pela dificuldade em alocar fotossintatos (CARLIN *et al.*, 2012). O estresse hídrico é um dos fatores externos na etapa inicial da degradação da clorofila, estes pigmentos são quimicamente instáveis e podem ser alterados ou destruídos facilmente (STREIT *et al.*, 2005), que pode resultar da fotoinibição e foto-branqueamento (SILVA *et al.*, 2007).

Os híbridos BRS 1040 (48,50) e BRS 1010 (47,90) mantiveram-se com maior teor de clorofila em relação ao DKB 390 no ambiente com restrição hídrica, este último híbrido apresentou menor conteúdo de clorofila, apresentando-se também a maior taxa de redução (32%) quando comparado às plantas irrigadas normalmente. De acordo com Silva *et al.* (2014), os genótipos mais tolerantes aos estresses apresentam níveis de clorofilas maiores em relação aos genótipos suscetíveis, sugerindo que esses pigmentos são bons indicadores fisiológicos na seleção de híbridos tolerantes. Assim como Graciano *et al.* (2016) afirmam que cultivares com capacidade de manter menores reduções desses pigmentos sob períodos de carência hídrica no solo podem apresentar maior capacidade de tolerar condição de seca.

Diante dos resultados observados no ambiente com restrição hídrica, foi verificado que existe diferença entre os híbridos na resposta a tal restrição para o teor de clorofila

(SPAD), assim como relatado por Silva *et al.* (2014), que verificaram diferenças entre cultivares de cana-de-açúcar submetidas à déficit hídrico durante 67 dias e também relatado por Soares *et al.* (2011) para diferenças entre híbridos de milho. O conteúdo de clorofila é uma variável importante para avaliar diferenças genotípicas do estado nutricional de plantas de milho (DURÃES *et al.*, 2010) e dos efeitos decorrentes dos fatores ambientais (CUZZUOL e CLIPPEL, 2009; CARLIN *et al.*, 2012).

O N é um dos principais constituintes da molécula da clorofila (CARLIN *et al.*, 2012), desse modo, uma justificativa para redução do teor relativo de clorofila quando as plantas estão sob restrição hídrica é que à medida que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorverem água, devido a maior força de retenção pela diminuição da disponibilidade de água no solo às plantas. Portanto, o solo seco não pode fornecer N e outros nutrientes o suficiente para suprir as necessidades da cultura (SANTOS e CARLESSO, 1998), limitando seu crescimento e influenciando diretamente a fotossíntese, seja na formação dos cloroplastos, síntese de clorofilas, atividade da enzima Rubisco ou síntese protéica (CARLIN *et al.*, 2012).

Assim, o metabolismo do N associado à aquisição e assimilação é reduzido sob tais condições (FERREIRA *et al.*, 2002; RASCON *et al.*, 2007), favorecendo o aumento da senescência foliar, reduzindo os teores de N pelas leituras do clorofilômetro e diminuindo o processo fotossintético e conseqüentemente o rendimento da cultura (VIEIRA *et al.*, 2014; VARGAS *et al.*, 2012; ARGENTA *et al.*, 2001). Esta relação é atribuída, basicamente, pelo fato de que 50 a 70% do N total presente nas folhas é integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (CHAPMAN e BARRETO, 1997).

Já sob deficiência hídrica severa favorece a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que danificam o metabolismo vegetal, pela indução de oxidação dos pigmentos fotossintéticos, e outros como lipídeos de membrana, ácidos nucléicos e proteínas. Portanto, em plantas sob influencia de restrição hídrica pode-se verificar decréscimos nos teores de clorofila, provavelmente, resultado da foto-oxidação dos pigmentos, associados à própria degradação das moléculas de clorofila (CARVALHO *et al.*, 2003; CARLIN *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2016). A destruição de pigmentos fotossintéticos devido a dano oxidativo é um sintoma comum em plantas expostas a estresse hídrico severo (CARVALHO *et al.*, 2003).

Observa-se que o ambiente sem restrição hídrica apresentou maior relação Fv/Fm em relação as plantas submetidas a restrição hídrica (Tabela 4). A relação Fv/Fm é uma variável importante e facilmente mensurável do estado fisiológico do aparelho fotossintético

em folhas de plantas intactas. O rendimento da fluorescência da clorofila revela o nível de excitação da energia no sistema de pigmentos que dirige a fotossíntese e tem-se constituído em potente ferramenta de seleção de plantas de milho tolerantes a condições adversas, principalmente sob estresse hídrico (DURÃES *et al.*, 2010). Verifica-se que a relação Fv/Fm em plantas sob condições ambientais ótimas de cultivo pode variar em uma faixa de 0,75 a 0,85 elétrons quantum<sup>-1</sup> (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009). Silva *et al.* (2013) observaram que a razão Fv/Fm da cultivar BRS 1010 para todos os tratamentos apresentaram valor médio de 0,8 elétrons quantum<sup>-1</sup>, sugerindo que as plantas de milho com esses valores não apresentaram efeito inibitório ao PSII. Sendo assim, estes resultados reforçam ao valor encontrado neste trabalho, indicando que a razão Fv/Fm de 0,812 elétrons quantum<sup>-1</sup> encontrada no ambiente com irrigação plena é adequada, apontando estar sob nenhum efeito de estresse.

**TABELA 4.** Médias da fluorescência da clorofila (Fv/Fm), índice de área foliar (IAF), condutância estomática (Gs) e ângulo radicular (AR) em folhas de híbridos de milho cultivados em ambientes com e sem restrição hídrica. Nova Porteirinha – MG, 2017.

VARIÁVEIS		Fv/Fm	IAF (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	Gs (m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	AR
HÍBRIDOS	<b>BRS 1040</b>	0,779 a	4,55 a	53,44 a	43,54 a
	<b>BRS 1010</b>	0,751 a	3,87 bc	50,17 a	43,54 a
	<b>DKB 390</b>	0,741 a	3,75 c	43,52 a	36,24 a
	<b>BRS 1055</b>	0,784 a	4,37 ab	48,51 a	41,66 a
AMBIENTES DE CULTIVO	<b>SEM</b>	0,812 a	4,69 a	49,75 a	43,02 a
	<b>COM</b>	0,716 b	3,58 b	48,07 a	39,47 a

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F a um nível de 5% de significância.

No ambiente com restrição hídrica foi observada que a fluorescência da clorofila/relação Fv/Fm apresentou valor de 0,716 elétrons quantum<sup>-1</sup>, sendo que em plantas que apresentam valores de Fv/Fm abaixo de 0,75 elétrons quantum<sup>-1</sup> estão sujeitas a algum fator estressante e redução da eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII) (TEZARA *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2015). De acordo com Silva *et al.* (2013) a redução da relação Fv/Fm é um bom indicador fisiológico quando plantas estão sujeitas à estresses do ambiente, visto que a diminuição indica inibição da atividade fotoquímica, podendo representar tanto uma regulação fotoprotetora reversível ou uma inativação irreversível do PSII (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009). Observou-se, portanto, uma redução de 11,82% da razão



Fv/Fm em relação às plantas sem estresse hídrico. Cultivares que possuem capacidade de manter alto valor da relação Fv/Fm sob restrição hídrica indicam uma alta eficiência de uso de radiação, possivelmente para fase fotoquímica e assimilação de carbono, mantendo assim maior estabilidade das plantas sob condições de estresse (SILVA *et al.*, 2007; GRACIANO *et al.*, 2016).

Resultados semelhantes foram observados por Magalhães *et al.* (2009) caracterizando linhagens de milho contrastantes à seca no estágio de florescimento pleno por meio da fluorescência da clorofila verificaram que as plantas sob estresse hídrico reduziram cerca de 16,37% a relação Fv/Fm em relação as plantas sem estresse hídrico. Souza *et al.* (2013) verificaram que o híbrido DKB 390 sob condições ótimas de umidade no solo apresentou razão Fv/Fm em 0,77 e 0,79 nos anos de 2010 e 2011, respectivamente, no entanto, quando este mesmo híbrido presenciou condições de carência hídrica, reduziu essa relação em 3,9 e 6,33% respectivamente.

Verificam-se relatos na literatura em que há uma relação entre os valores obtidos nos teores de clorofila e a fluorescência da clorofila. Indicando que a eficiência quântica máxima da PSII (Fv/Fm) começou a cair quando leituras do índice de clorofila estiveram próximos ou abaixo de 40 (NETTO *et al.*, 2005; FONTES *et al.*, 2008). Os autores ainda comentam que plantas que apresentam leituras do índice SPAD próximo ou abaixo de 40, indicam o início de possíveis prejuízos ao processo de fotossíntese, já que esta relação Fv/Fm é um bom indicador de danos causados por fatores ambientais.

Lu e Zhang (2000) apontam alguns estudos que mostraram que a deficiência de N diminui o rendimento quântico do transporte de elétrons do PSII e a eficiência máxima da fotoquímica do PSII, inferindo que a deficiência de N provoca algum dano ao PSII. O solo seco não pode fornecer N suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura (SANTOS e CARLESSO, 1998). E ainda existem alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos que provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência (KONRAD *et al.*, 2005).

O índice de área foliar (IAF) encontrado no ambiente sem restrição hídrica foi significativamente maior ao ambiente com restrição hídrica, com índice de 4,69 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> (tabela 4). Esse índice encontrado altamente elevado é em virtude das plantas ainda terem a área de suas folhas completamente saudáveis e não terem chegado ao ponto de quedas das folhas e senescência. Houve uma diferença de 23% do IAF em relação às plantas com

restrição hídrica, Já tal redução foi verificada devido à ocorrência da senescência foliar e queda prematura de folhas, houve, portanto uma diminuição da área fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, menor área foliar quantificada para os híbridos.

Resultados semelhantes foram achados por Vieira *et al.* (2014), visando encontrar relações entre lâmina de água e indicadores morfológicos e fisiológicos em cana-de-açúcar, verificaram maiores índices de área foliar para as maiores lâminas de água, com índice de  $4,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  para lâmina de 150% e  $2,28 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  com lâmina menores de 25%. Garcia *et al.* (2008) encontraram IAF de 4,55 em milho cultivado sob irrigação plena, com índice máximo de 5,58 no estágio de florescimento, cerca de 67 dias após emergência, enquanto que, o tratamento sob efeito da restrição hídrica 20 dias após o florescimento, não obtiveram diferença, apresentando valor de IAF de 4,05.

O IAF de 3,58 encontrado no ambiente com restrição hídrica ainda encontra-se dentro dos limites de 3 a 5, assim denominado de índice crítico (GARCIA *et al.*, 2008). O IAF crítico é aquele valor em que ocorre a interceptação de 95% da radiação fotossinteticamente ativa, isto é, a cultura estaria próximo da máxima taxa média de crescimento. Já o IAF teto obtém atinge 100% de interceptação da luz pela máxima área foliar, enquanto que IAF ótimo é interceptado 90% de luz pela cultura. Entretanto, segundo Nascimento *et al.* (2011), o IAF por expressar a proporção de cobertura do solo, inúmeros trabalhos apontam com índice sempre próximo de  $5,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  sendo o mais ideal para a cultura do milho. Assim, o híbrido BRS 1040 e o BRS 1055 são os híbridos que mais estão próximos desse índice.

Não foi verificado efeito significativo para ângulo de raiz (AR)(tabela 4) possivelmente devido a restrição hídrica foi submetida em estágio de desenvolvimento do milho já avançado, isto é, as raízes dos diferentes híbridos já ocupavam um volume de solo com ângulos radiculares semelhantes e assim a aplicação da restrição hídrica não causou efeito. Segundo Santos e Carlesso (1998), em condições de déficit hídrico há maior expansão das raízes, devido ao secamento da superfície do solo, no entanto, essa expansão, densidade e o comprimento de raízes aumentam até o início da floração das plantas, decrescendo posteriormente, com diminuição na eficiência de absorção de água. Portanto, é fundamental mais estudos da medição do ângulo radicular em estádios diferentes na cultura do milho para conhecimento dos efeitos do estresse hídrico.

#### **4. CONCLUSÕES**

O teor relativo de clorofila, fluorescência da clorofila ( $F_v/F_m$ ) e índice de área foliar são bons indicadores morfofisiológicos dos efeitos da restrição hídrica em milho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARAÚJO, SA do C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 715-722, 2001.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p.243-249, 2006.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, p. 11, 2014.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p.949-956, 2001.
- CARLIN, S. D.; de LIMA RHEIN, A. F.; dos SANTOS, M.; MARIA, D. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 553-563, 2012.
- CARVALHO, L. M. de.; CASALI, V. W. D.; de SOUZA, M. A.; CECON, P. R. Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, 2003.
- CARVALHO, A. F. G., MARTIN, T. N., SANTOS, S., MÜLLER, T. M., PIRAN FILHO, F. A. Perfil agrônomo e bromatológico de silagem de milho no sudoeste do Paraná. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 114, n. 2, p. 149-159, 2015.
- CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.G. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.
- COSTA, J. R. da; PINHO, J. L. N.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 12, n.5, p.443-450, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 5 - Safra 2017/18, n 12 – Décimo segundo levantamento, setembro 2018.
- CUZZUOL, G.R.F.; CLIPPEL, J. K. Aspectos ecofisiológicos de *Sinningia speciosa* Chautems em condições de campo. **Hoehnea**, v. 36, n. 1, p.73-81, 2009.

DURÃES, F. O.; MAGALHÃES, P. C.; GAMA, E. E. G. E.; OLIVEIRA, A. C.de. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 03, 2010.

DUQUE, A. S.; ALMEIDA, A. M. de.; SILVA, A. B. da.; SILVA, J. M. da.; FARINHA, A. P.; SANTOS, D.; FEVEREIRO, P.; SOUSA, A. S. de. Abiotic Stress Responses in Plants: Unraveling the Complexity of Genes and Networks to Survive. In.: Vahdati, K. Abiotic Stress. **Intech Open**. p.49-101. 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, V. M.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRA, L. E. M. D.; PURCINO, A. Á. C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural**, p. 13-17, 2002.

FLOSS, E. L. Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê. Passo Fundo: UPF, 2004. 536p.

FONTES, R. V.; SANTOS, M. P. FALQUETO, A. R. SILVA, D. M. BACARIN, M. A. Alterações fotossintéticas e de crescimento em plantas de mamoeiro em resposta a diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira Agrociência**. Pelotas, v.14, n.3-4, p.182-187, jul-set, 2008.

GARCIA, A.; ANDRÉ, R. G. B.; GALBIATTI, J. A.; TANNOUS, S. Análise de crescimento de uma cultura de milho submetida a diferentes regimes hídricos. **Nucleus**. v.5. p.239-251, 2008.

GRACIANO, E. S. A.; SANTOS, H. R. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e pigmentos fotossintéticos de cultivares de amendoim sob deficiência hídrica no solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 9, n. 1, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. 2018. Acesso em novembro de 2018, Disponível em INMET: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>

JOSHI, D. C. *et al.* Development of a phenotyping platform for high throughput screening of nodal root angle in sorghum. **Plant methods**. 2017. 12p.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B. D.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. In: RAHMAN, I. M. M. Water Stress. **Intech Open**, p.1-14. 2012.

LU, C.; ZHANG, J. Photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. **Plant Science**, v. 151, n. 2, p. 135-143, 2000.

MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; KARAM, D.; CANTÃO, F. R. O. **Caracterização de plantas de milho sob estresse hídrico**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2009. 6 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 116).

MAGALHÃES, P., LAVINSKY, A., AVILA, R., ALVES, J., MELO, M., GOMES JUNIOR, C. C., & MELO, H. **Caracterização do sistema radicular e dos componentes da produtividade em quatro genótipos de milho cultivados sob déficit hídrico**. Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2014. (INFOTECA-E).

MANFRON, P.A.; BACCHI, O.O.S.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A.R.; MEDEIROS, S.L.P.; PILAU, F.G. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2 p.333-342, 2003.

MOURA, A. R. de., NOGUEIRA, R. J. M. C., da SILVA, J. A. A.; de LIMA, T. V. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

NASCIMENTO, F. M.; BICUDO, S. J.; RODRIGUES, J. G. L.; FURTADO, M. B.; CAMPOS, S. Produtividade de genótipos de milho em resposta à época de semeadura. **Ceres**, v. 58, n. 2, 2011.

NETTO, A. T., CAMPOSTRINI, E., de OLIVEIRA, J. G., BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005.

NING, P.; LI, S. WHITE, P. J.; LI, C. Maize varieties released in different eras have similar root length density distributions in the soil, which are negatively correlated with local concentrations of soil mineral nitrogen. **John Schiefelbein**, University of Michigan, US, 2015.

PARENTONI, S. N.; GAMA, E.; dos SANTOS, M. X.; PACHECO, C.; MEIRELLES, W.; CORREA, L.; TAVARES, F. **Híbrido simples de milho BRS 1010**. Embrapa Milho e Sorgo-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2004. (Comunicado Técnico 107)

QUEIROZ, R. J. B. **Resposta fisiológica e molecular de dois genótipos de milho à limitação hídrica**. 2010. 167p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2010.

RASCON, N. J. L. *et al.* Atividade da redutase do nitrato em folhas de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* King RA) submetida ao estresse hídrico e a reidratação. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S2, p. 930-932, 2007.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SILVA, M. D. A.; JIFON, J. L.; Da SILVA, J. A.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SILVA, M. D. A.; SILVA, J. A. G. D., ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agrícola**, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008.

SILVA, J. F. da.; ANTONIO NETO, L. N.; SANTOS, A. dos.; CECCON, G. Morfofisiologia de milho safrinha em espaçamento reduzido e consorciado com *Urochloa ruziziensis*. **Agrarian**, v. 6, n. 21, p. 259-267, 2013.

SILVA, M. D. A.; SANTOS, C. M. D.; VITORINO, H. D. S.;LIMA RHEIN, A. F. D. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, p. 173-181, 2014.

SILVA, F. G.da.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M. de; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. de. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, n. 10, 2015.

SILVA, A. R. A.da.; BEZERRA, F. M. L.; de LACERDA, C. F.; de SOUSA, C. H. C.; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro @ambiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 317-325, 2016.

SOARES, F. R. *et al.* Correlações entre características de milho sob estresse hídrico. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil.[Búzios]: SBMP, 2011., 2011.

SOUZA, T. C. de; CASTRO, E. M. de; MAGALHÃES, P. C.; LINO, L. de O. ALVES, E. T; ALBUQUERQUE, P. E. P. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.35, n.11, p. 3201–3211, 2013.

SOUZA, M. C. HABERMANN, G. Towards a New Ecophysiological Approach to Understand Citrus Crop Yield Under Abiotic Stresses Mirroring in the Brazilian Savanna Genetic Resources. In.: Rahman, I. M. M. Water Stress, **IntechOpen**, 2012. p.151-164.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. D.; Hecktheuer, L. H. H. The chlorophylls. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. – Porto Alegre: **Artmed**, 2017.

TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E.; MARTÍNEZ, D.; HERRERA, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica**, v.43, p.37-45, 2005.

TRACHSEL, S.; KAEPLER, S. M.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. *Shovelomics*: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field. **Plant and Soil**, v. 341, n. 1-2, p. 75-87, 2011.

VARANDA, M. A. MELO, A. V de.; SILVA, R. R. Comportamento de híbridos experimentais de milho em condições de estresses de seca. **Seminário Iniciação Científica**, UFT, Palmas. 2012. 5p.

VARGAS, V. P.; SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; SIEGA, E.; CARNIEL, G.; FERREIRA, M. A. Os atributos nas folhas são mais eficientes que o N mineral no solo para avaliar a disponibilidade desse nutriente para o milho. **Bragantia**, v. 71, n. 2, 2012.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Indicadores morfo-fisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, 2014.



## **CAPÍTULO II**

### **DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE HÍBRIDOS DE MILHO CULTIVADOS COM E SEM RESTRIÇÃO HÍDRICA**

## RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos da restrição hídrica no desempenho de híbridos de milho cultivados com e sem restrição hídrica, e ainda, caracterizar os materiais que são mais adaptados as condições da região do Norte de Minas Gerais. O estudo foi realizado na Fazenda experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Nova Porteirinha-MG no ano de 2017. Foram realizados simultaneamente dois experimentos de campo, um com e outro sem restrição hídrica. No experimento sem restrição hídrica, foi feita a irrigação da cultura normalmente, até atingir a maturidade fisiológica dos grãos. Já no experimento com restrição hídrica, a irrigação foi estabelecida do período de pré-florescimento até o final do ciclo da cultura. Em cada um dos experimentos os tratamentos foram quatro híbridos de milho (BRS 1010, BRS 1040, BRS 1055 e DKB 390). Os experimentos foram instalados em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por quatro fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,8 m entre si. Foram avaliadas as seguintes variáveis: florescimento masculino e feminino, intervalo entre florescimento masculino e feminino, plantas acamadas e quebradas, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, peso de espiga, número total de espigas, peso de 100 grãos, índice de espiga, produtividade de grãos e a eficiência do uso da água. A restrição hídrica não influenciou o peso de grãos (PG) e o número de grãos por fileira (NGPF) dos híbridos. A restrição hídrica durante o pré-florescimento reduziu de 62,92 a 86,19% o rendimento de grãos. Os híbridos de milho no presente estudo possuem rendimento de grãos (RG) estatisticamente semelhantes quando submetidos à restrição hídrica no período de pré-florescimento. O híbrido DKB 390 possui maior rendimento de grãos (RG) e eficiência no uso da água (EUA) e menor número de plantas acamadas e quebradas (PAC+PQ) sob condições adequadas de irrigação, sem estresse hídrico.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, tolerância à seca, déficit hídrico, BRS1040, BRS 1010, DKB 390 e BRS 1055.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of water restriction on the performance of maize hybrids cultivated with and without water restriction, and to characterize the materials that are most adapted to the conditions of the Northern region of Minas Gerais. The study was carried out at the Experimental Farm of Embrapa Milho and Sorgo, in Nova Porteirinha-MG in 2017. Two field experiments were carried out simultaneously, one with and one without water restriction. In the experiment without water restriction, the crop was irrigated normally, until reaching the grains reached physiological maturity. In the experiment with water restriction, irrigation was established from the pre-flowering period until the end of the crop cycle. In each of the experiments the treatments were four corn hybrids (BRS 1010, BRS 1040, BRS 1055 and DKB 390). The experiments were installed in a randomized complete block design with four replications. Each experimental plot was composed of four rows of 5 m in length, spaced 0.8 m apart. The following variables were evaluated: male and female flowering, male and female flowering interval, lodged and broken plants, ear length, ear diameter, number of rows per ear, number of grains per row, ear weight, number total spikes, weight of 100 grains, spike index, grain yield and water use efficiency. Water restriction did not influence grain weight (GW) and number of grains per row (NGPR) of the hybrids, but, during pre-flowering, reduced grain yield (GY) from 62.92 to 86.19%. The corn hybrids in the present study have statistically similar GY when submitted to water restriction in the pre-flowering period. The hybrid DKB 390 has higher GY and water use efficiency (WUE) and fewer lodged and broken plants (LP + BP) under adequate irrigation conditions, without water stress.

**Keywords:** *Zea mays*, drought tolerance, abiotic stress, BRS 1040, BRS 1010, DKB 390 and BRS 1055.

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea anual, pertencente ao grupo de plantas do tipo C4 e possui ampla adaptação climática. Possui a capacidade de produzir uma maior quantidade de alimento por unidade de área e em pouco tempo, com duração do seu ciclo em torno de quatro meses. A produção de milho no Brasil se distingue em duas épocas de semeadura. A semeadura de verão, ou primeira safra, que é realizado o plantio durante o período chuvoso, e ainda, a semeadura obtida na safrinha, ou segunda safra, referente ao milho produzido em sequeiro.

A cultura é plantada em todo território brasileiro e se destaca como a segunda cultura de maior importância econômica para a agricultura do Brasil, atualmente, com 36,81% da produção de grãos do país, atrás somente da soja, com 53,98%, tendo a região com maior destaque na produção de grãos do Centro-oeste e no Brasil a cultura possui um rendimento médio de grãos de 4.890 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). No entanto, a produtividade brasileira ainda é considerada baixa em relação ao potencial produtivo da cultura, pois sob condições de cultivo adequadas podem atingir produtividade em torno de 8.000 kg ha<sup>-1</sup> (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014). Valores de rendimento de grãos inferiores aos desejáveis estão relacionados ao nível tecnológico utilizado pelos produtores, associadas ainda com as variações das condições climáticas, principalmente pelas precipitações insuficientes.

O déficit hídrico provoca uma série de reações que conforme a duração e intensidade tornam-se irreversíveis à planta do milho. A capacidade das plantas em tolerar períodos de deficiência hídrica é de suma importância para apresentar um maior rendimento econômico em regiões que apresentam carência hídrica. A seca é um dos fatores abióticos mais importantes que limitam o rendimento do milho em diversas regiões do país. Como exemplo a região do Norte de Minas Gerais que apresenta o clima semiárido, caracterizado pelo clima seco e quente, além de precipitações insuficientes e mal distribuídas. O fornecimento inadequado de água no solo também é um dos fatores limitantes para atingir o máximo potencial produtivo em diversas espécies vegetais.

Ainda nos dias atuais, inúmeros programas de melhoramento vegetal não obtiveram êxito no progresso de desenvolvimento de cultivares tolerantes ao estresse hídrico. Pois, devido à interação do genótipo com o ambiente, ocorre pouca herdabilidade do caráter,

assim a seleção de milhos produtivos ao estresse hídrico é ainda considerada ineficiente, visto que torna laborioso e moroso pelas condições experimentais (CÂMARA *et al.*, 2007). O conhecimento do nível de relação existente entre caracteres agronômicos e seleção de híbridos cada vez mais produtivos e adaptados aos diferentes ambientes com limitações hídricas é de grande importância para os melhoristas, visto que esses fatores de genótipos e ambientais podem interagir entre si (LOPES *et al.*, 2007).

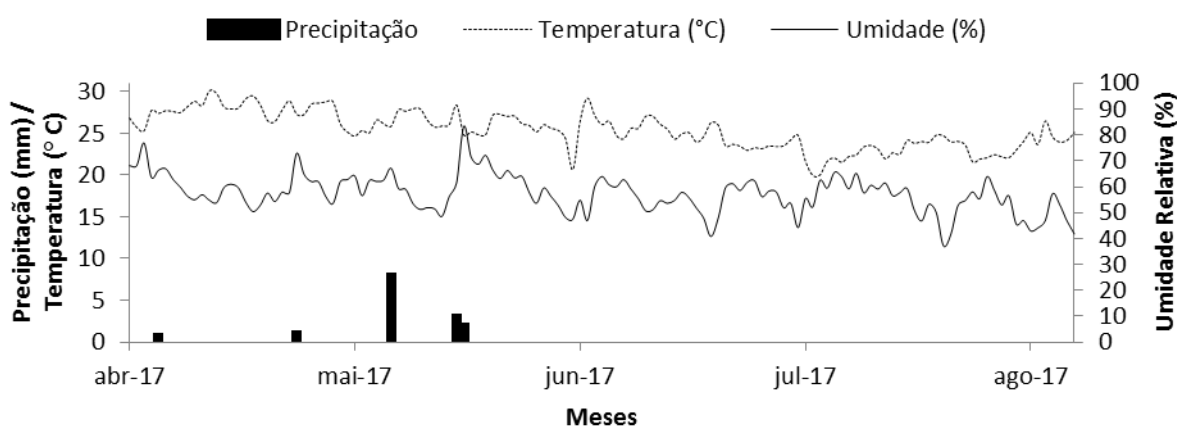
A capacidade das plantas em tolerar períodos de restrição hídrica é de suma importância para apresentar um maior rendimento econômico em regiões que apresentam carência hídrica. Sendo assim, tornam-se imprescindíveis estudos de tolerância à seca para caracterização de materiais que são mais adaptados a ambientes que apresentam limitação hídrica, especialmente no período crítico da cultura que engloba a floração e enchimento de grãos, no qual é o período mais sensível para o milho e que há uma redução significativa no rendimento.

Diante do exposto, objetivou-se com esse estudo avaliar os efeitos da restrição hídrica na performance de híbridos de milho cultivados com e sem restrição hídrica, e ainda, caracterizar os materiais que são mais adaptados à seca.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda experimental da Embrapa Milho e Sorgo, município de Nova Porteirinha, Norte de Minas Gerais. A área experimental está situada no projeto Gorutuba, com coordenadas geográficas correspondentes a latitude de 15°45'25.5"S e longitude 43°16'53.2"W, na altitude de 524 m. O clima da região, conforme classificação de Köppen é do tipo "Aw" (tropical com estação seca).

O estudo foi conduzido entre os meses de abril (05/04) a agosto (09/08) de 2017. A precipitação acumulada durante o período experimental foi de 14,20 mm, com temperatura média máxima de 26,2 °C e média mínima de 24,5 °C e umidade relativa média de 60 % (INMET, 2018). As condições meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento estão apresentadas na Figura 1, visto que os dados foram coletados a cerca de 100 m do local.



**FIGURA 1.** Características climáticas de temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação pluvial (mm) registrada durante o período de condução do experimento. Nova Porteirinha, MG (2017).

O solo no local é um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. A análise química realizada na camada de 0-20 cm apresentou os seguintes resultados: pH: 5,8; matéria orgânica: 1,6%; P: 18,1 mg dm<sup>-3</sup>; K: 302,5 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 2,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 0,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al: 0,06 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Cu: 0,77 mg dm<sup>-3</sup>; Fe: 11,6 mg dm<sup>-3</sup>; Zn: 4,1 mg dm<sup>-3</sup> e Mn: 16,0 mg dm<sup>-3</sup>.

## **2.1 Delineamento experimental e tratamentos**

Foram conduzidos dois ensaios de campo, um com restrição hídrica e outro sem restrição hídrica. Em cada um dos ensaios foram avaliados quatro híbridos de milho, sendo dois susceptíveis (BRS 1010 e BRS 1040) e dois tolerantes ao déficit hídrico (BRS 1055 e DKB 390). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por quatro fileiras de milho com 5 m de comprimento, espaçadas de 0,8 m entre si, perfazendo área total de 16,0 m<sup>2</sup>. Para avaliação do experimento, foram consideradas as duas linhas centrais de cada parcela, perfazendo uma área útil de 8 m<sup>2</sup>.

## **2.2 Instalação e condução do experimento**

O preparo do solo foi feito de forma convencional, com uma aração e uma gradagem em pré-plantio, e posteriormente foi feito o sulcamento da área. A semeadura do milho foi realizada no dia cinco de abril de 2017, feita manualmente, colocando-se duas sementes por cova a uma distância de 0,2 m entre plantas e 0,8 m entre fileiras. O desbaste do excesso de plantas foi efetuado quando estas apresentavam de três a quatro folhas totalmente expandidas, deixando-se apenas uma planta por cova, totalizando uma população de 62.500 plantas por hectare.

A adubação foi feita de acordo com a necessidade da cultura e análise química do solo, utilizando 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 (NPK) mais Zn aplicado no sulco de plantio. A adubação de cobertura foi feita utilizando 120 kg ha<sup>-1</sup> de N no estágio fenológico V6, com seis folhas totalmente expandidas, aplicando-se ureia como fonte de N. Os tratamentos culturais constituíram-se de capinas manuais e aplicações de produtos químicos recomendados para a cultura para o controle de pragas e doenças, quando necessário.

Utilizou-se irrigação por sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores espaçados 12 x 12 m, pressão de serviço de 250 kPa, bocais de 4,0 x 2,6 mm de diâmetro e com vazão de 1,6 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. As parcelas experimentais foram irrigadas mantendo-se sempre a umidade do solo próximo da capacidade de campo, até a imposição da restrição hídrica para o respectivo ambiente.

O experimento sem restrição hídrica foi irrigado normalmente até a maturação fisiológica dos grãos (R6), com término da irrigação em 12 de junho. Nesse ambiente, foi consumida no total uma lâmina de 734,2 mm. Já o experimento com restrição hídrica, a irrigação foi cessada no início do período de pré-florescimento, ou seja, a aplicação da restrição hídrica foi realizada em torno do estágio V14, com 14 folhas completamente expandidas, em 22 de Maio permanecendo até o término do ciclo da cultura. No total foi utilizada uma lâmina de água de 594,2 mm no ambiente com restrição hídrica.

### **2.3 Características avaliadas**

As seguintes variáveis foram avaliadas: altura da planta, altura de inserção de espiga, intervalo entre florescimento masculino e feminino, plantas acamadas e quebradas, diâmetro de espiga, comprimento de espiga, número de fileiras de grãos da espiga, número de grãos por fileira, peso de grãos, peso de 100 grãos, número total de espigas, índice de espiga, massa seca da parte aérea, rendimento de grãos e a eficiência do uso da água.

A altura das plantas (AP) foi determinada pela medição do comprimento do colmo por meio de uma régua graduada dada em metros, a partir da superfície do solo até a base folha “bandeira” da planta de milho. Já a altura de inserção de espiga (AE) foi medida a partir da superfície do solo e o ponto de inserção da primeira espiga com o colmo. Para essas medidas de altura, foram avaliadas cinco plantas representativas da área útil de cada parcela durante o estágio de maturação fisiológica dos grãos.

O intervalo entre o florescimento masculino e feminino (IFMF) foi determinado calculando-se a diferença do número de dias entre o florescimento masculino (FM) e o florescimento feminino (FF). O FM e FF foram obtidos por meio da contagem do número de dias a partir da data de semeadura até que 50% das plantas das parcelas apresentavam-se, respectivamente, com o estilo-estigma e o pendão visíveis.

A determinação do número de plantas acamadas e quebradas (PAC+PQ) foi obtida por meio do somatório entre o número de plantas recurvadas a um ângulo igual ou superior a 45° e do número de plantas com o colmo quebrado presente em cada parcela experimental.

O diâmetro de espiga (DE) foi determinado pela medição da porção central das espigas, foram avaliadas dez espigas, mediante a utilização de um paquímetro, sendo as



mesmas utilizadas para medição com comprimento de espiga. A determinação do comprimento médio de espiga (CE) foi realizada após a colheita, coletando-se dez espigas aleatoriamente em cada parcela, em que foram tiradas medidas da base da espiga até o ápice com o uso de régua graduada.

O número médio de fileiras de grãos da espiga (NFG) foi obtido pelas simples contagem visual, em uma amostragem de dez espigas de cada parcela.

O número de grãos por fileira (NGPF) foi obtido por meio da contagem visual do número de grãos presente em uma fileira de grãos.

Para o peso de grãos (PG) as espigas foram debulhadas em debulhador estacionário, em seguida, foi feita a média da pesagem de cada grão separadamente, em uma amostragem de 10 grãos. Já para o peso de 100 grãos (P100G), foi feita a média da pesagem de três subamostras de 100 grãos, sendo o resultado convertido para 13% de umidade.

O número total de espigas (NTE) foi obtido por meio da contagem visual do número de espigas presente em cada parcela experimental.

Índice de espiga (IE) ou prolificidade efetuou-se a divisão entre o número total de espigas presente na área útil colhida e o número de plantas presentes na mesma área.

Para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA), foram colhidas ao acaso três plantas dentro de cada parcela, fracionadas, identificadas e acondicionadas em sacos de papel, foram levadas para estufa com circulação de ar forçada a uma temperatura de 65°C durante período de 72 horas. Posteriormente, as amostras foram pesadas em balança de precisão de 0,01 g e, em seguida, os dados foram convertidos  $\text{kg ha}^{-1}$ .

O rendimento de grãos (RG) foi determinado após a colheita e pesagem dos grãos oriundos das espigas da área útil de cada parcela, com umidade dos grãos corrigidos para o teor de 13%, e os dados expressos em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

A Eficiência do uso da água (EUA) ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) foi calculada pela razão da produtividade do híbrido e pela lâmina de água aplicada:

$$EUA = \frac{RG}{LAT} \quad (\text{Equação 1})$$

em que, RG = Rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e LAT= Lâmina de água total acumulada, considera-se LAT as lâminas de irrigação acumuladas (mm) mais os valores de precipitação acumulados (14,2 mm) durante o período de condução experimental.

## 2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análises de variância individuais e conjunta dos experimentos (com e sem restrição hídrica), e quando significativas pelo teste F ( $p < 0,05$ ), as diferenças entre as médias dos híbridos foram comparadas pelo teste Tukey a um nível de 5% de significância. Os dados de plantas acamadas e quebradas foram primeiramente transformados de acordo com o modelo  $\sqrt{(x + 0,5)}$  para satisfazer a necessidade de distribuição normal dos resultados. Logo após, as variáveis foram analisadas por meio da aplicação do teste F sobre a análise de variância seguida do teste de Tukey a um nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, nota-se que houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) do ambiente (A) para todas variáveis, com exceção somente para a altura de inserção de espigas (AE) que não apresentou diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ). Já para a fonte de variação híbrido (H), apenas o número de grãos por fileira (NGPF) e peso de grãos (PG) não apresentaram significância ( $p \geq 0,05$ ). Houve interação ( $p < 0,05$ ) entre híbrido e ambiente (H\*A) para intervalo de florescimento (IFMF), número total de espigas (NTE), número de plantas acamadas mais plantas quebradas (PACPQ), índice de espiga (IE), rendimento de grãos (RG) e eficiência no uso da água (EUA).

No ambiente sem restrição hídrica, isto é, com irrigação plena, observa-se que a variável altura de planta (AP) mostrou-se superior ao ambiente com restrição hídrica, houve um acréscimo de 5,62% na altura das plantas, ou seja, um aumento de 14,00 cm (Tabela 2). Houve pouca diferença na altura das plantas devido à aplicação do déficit hídrico ter iniciado no estágio reprodutivo, ou seja, o número de folhas já estava definido, houve apenas um pequeno aumento no alongamento/expansão do caule da planta. No estágio reprodutivo do milho, a dominância apical é quebrada pelo surgimento da florescência masculina, do pendão, assim os fotoassimilados serão translocados para produção de grãos.

**TABELA 1.** Resumo da análise de variância (valores de probabilidade) para altura de plantas (AP), altura de inserção de espigas (AE), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos por fileira (NGPF), peso de grãos (PG), peso de 100 grãos (P100G), massa seca da parte aérea (MSPA), intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), número de plantas acamadas mais plantas quebradas (PAC+PQ), número total de espigas (NTE), índice de espigas (IE), rendimento de grãos (RG) e eficiência no uso da água (EUA) em híbridos de milho submetidos a ambientes com e sem restrição hídrica, Nova Porteirinha – MG, 2017.

Fontes de Variação	GL	VALORES DE P														
		AP	AE	DE	CE	NFG	NGPF	PG	P100G	MSPA	IFMF	PAC+PQ	NTE	IE	RG	EUA
Ambiente (A)	1	0,006**	0,209 <sup>ns</sup>	0,000**	0,000**	0,008**	0,001**	0,00**	0,01*	0,000**	0,015*	0,000**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Híbridos (H)	3	0,000**	0,025*	0,000**	0,014*	0,000**	0,413 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,01*	0,001**	0,000**	0,001**	0,03*	0,03*	0,00**	0,00*
Interação (A*H)	3	0,970 <sup>ns</sup>	0,883 <sup>ns</sup>	0,111 <sup>ns</sup>	0,068 <sup>ns</sup>	0,240 <sup>ns</sup>	0,074 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,144 <sup>ns</sup>	0,005**	0,000**	0,02*	0,02*	0,00**	0,00**
Bloco (Ambiente)	6	0,043	0,219	0,707	0,605	0,199	0,214	0,52	0,75	0,009	0,886	0,108	0,01	0,01	0,13	0,05
Erro	18															
CV (%)		4,98	5,03	4,44	5,62	3,59	17,57	13,32	8,28	13,14	1,46	23,22	13,43	13,43	18,21	18,00
Média geral		2,56	1,48	43,63	14,63	14,25	32,49	130,1	31,04	11.251	67,25	91,93 (10.585)	41.132	0,65	3.891	0,55

\* , \*\* , <sup>ns</sup> Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F. Valor entre parênteses de PAC+PQ corresponde ao valor original, os dados sem transformação.

Segundo Lissar *et al.* (2012), sob condições de estresse hídrico, a expansão das células diminui ou cessa, e o crescimento das plantas é retardado. Resultados semelhantes foram encontrados por Varanda *et al.* (2012), os quais evidenciaram que a situação de estresse hídrico acarretou redução na altura da planta próxima a 7%, isto é, uma redução de 17,5 cm na altura. Para Floss (2004), estresses hídricos podem ocasionar a redução no vigor vegetativo e na altura da planta, bem como outros processos fundamentais da planta de milho para garantir altas produções. Manfron *et al.* (2003) observaram um crescimento da estatura de plantas de milho até 75 dias após a emergência (DAE), em que para os três híbridos avaliados, foi atingida a maior estatura de plantas no final do estágio vegetativo. A partir desta data, observou-se um período de estabilização para, posteriormente ocorrer uma diminuição em torno de 4,6%, o que é de se esperar por serem os fotoassimilados translocados não mais para a parte aérea (colmo e folhas), mas para a formação de grãos.

O híbrido BRS 1010 apresentou menor arquitetura de planta em relação aos híbridos BRS 1040 e BRS 1055, estando condizente com as informações técnicas fornecidas pela empresa produtora das sementes (PARENTONI *et al.*, 2004).

Resultados semelhantes foram encontrados por Magalhães *et al.* (2014), que avaliaram quatro genótipos de milho sob o efeito do déficit hídrico em condições de casa de vegetação e observaram que o genótipo BRS 1055 mesmo sob deficiência hídrica (2,157 m) e irrigação plena (2,190 m), apresentou média significativamente superior para altura da planta do milho em relação aos híbridos BRS 1010 e DKB390, em contrapartida, não encontraram diferença significativa entre os ambientes avaliados para nenhum genótipo.

Carvalho *et al.* (2015), estudando o perfil agrônomico de 49 genótipos de milho, encontraram que o híbrido BRS 1040 possui porte significativamente superior aos híbridos BRS1055 e DKB 390, apresentando, portanto médias de altura de 2,75; 2,52 e 2,45 m respectivamente. A arquitetura das plantas pode ser influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos, como o adensamento das plantas, competição intra e interespecífica, manejo da cultura, fitossanidade e condições edafoclimáticas principalmente a escassez hídrica.

**TABELA 2.** Médias da altura de plantas (AP), altura de inserção de espigas (AE), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos por fileira (NGPF), peso de grãos (PG), peso de 100 grãos (P100G) e massa seca da parte aérea (MSPA) em híbridos de milho cultivados em ambientes com e sem restrição hídrica. Nova Porteirinha – MG, 2017.

<b>VARIÁVEIS</b>		<b>AP</b>	<b>AE</b>	<b>DE</b>	<b>CE</b>	<b>NFG</b>	<b>NGPF</b>	<b>PG</b>	<b>P100G</b>	<b>MSPA</b>
<b>HÍBRIDOS</b>	<b>BRS 1040</b>	2,72 a	1,50 ab	44,25 ab	14,96 ab	13,51 b	33,35 a	139,56 a	33,21 a	12.836 a
	<b>BRS 1010</b>	2,40 c	1,43 b	42,76 bc	14,32 ab	13,58 b	29,67 a	122,74 a	31,98 ab	10.316 bc
	<b>DKB 390</b>	2,51 bc	1,45 ab	46,33 a	13,94 b	16,26 a	32,57 a	133,00 a	30,32 ab	9.674 c
	<b>BRS 1055</b>	2,63 ab	1,55 a	41,17 c	15,32 a	13,65 b	34,38 a	125,20 a	28,66 b	12.178ab
<b>AMBIENTES DE CULTIVO</b>	<b>SEM</b>	2,63 a	1,50 a	45,21 a	15,49 a	14,52 a	36,38 a	150,2 a	32,3 a	12.840 a
	<b>COM</b>	2,49 b	1,46 a	42,05 b	13,78 b	13,98 b	28,61 b	110,0 b	29,78 b	9.661 b

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a um nível de 5% de significância.

Diferença significativa não foi observada entre os ambientes avaliados para a altura de inserção de espiga (AE). Nota-se que o híbrido BRS 1055 apresentou maior altura de inserção de espiga em relação ao híbrido BRS 1010, com as respectivas alturas de espigas em 1,55 e 1,43 m (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Magalhães et al. (2014), em que não observaram diferença significativa entre os ambientes com deficiência hídrica (DH) e irrigação próximo à capacidade de campo (CC) e também não observaram diferença significativa entre os híbridos dentro do ambiente (CC). No entanto, os autores verificaram que os híbridos BRS 1055 e BRS 1010 quando submetidos ao período de restrição hídrica, apresentaram menor altura de inserção de espiga em relação ao híbrido DKB 390, com médias de 0,915, 0,913 e 1,111 m, respectivamente. Já Carvalho *et al.* (2015), estudando o perfil agrônomico de diferentes genótipos de milho não encontraram diferenças significativas para os híbridos BRS 1040, BRS 1055 e DKB 390.

Nota-se que na tabela 2 o ambiente com restrição hídrica apresentou médias significativamente inferiores em relação ao ambiente sem restrição hídrica em quase todas as variáveis analisadas, indicando que são componentes de produção sensíveis a restrição hídrica aplicadas no início do período de pré-florescimento. Observa-se que o genótipo DKB 390 apresentou maior diâmetro de espiga (46,33 mm) quando comparado ao BRS 1055, porém apresentou um menor comprimento de espiga (13,93 cm) em relação ao mesmo híbrido. No entanto, devido ao seu maior diâmetro de espiga, compensou com maior número de fileiras de grãos (16,26) e pôde garantir alta produtividade (tabela 5). O genótipo BRS 1055 apresentou esse efeito contrário, com menor diâmetro de espiga (41,17 mm) e maior comprimento de espiga (15,32 cm), quando comparado ao DKB 390, porém não alcançou um número de fileiras ideal, portanto, manteve-se semelhante aos demais híbridos em relação à produtividade (tabela 5) por apresentar menores valores de diâmetro de espiga.

O comprimento da espiga (CE) reduziu do ambiente sem restrição para o ambiente com restrição em 1,71 cm (11,04%) (tabela 2). Souza *et al.* (2013), estudando o efeito do estresse hídrico em milho em dois anos consecutivos, não observaram diferença significativa entre os híbridos BRS1030 e DKB390 para os caracteres comprimento e diâmetro de espiga.

Uma redução de 3,72% verificou-se no número de fileiras de grãos (NFG), com variação de 14,52 a 13,98 fileiras (tabela 2). Quando as plantas foram cultivadas no ambiente com restrição hídrica, houve uma redução de cerca da metade de uma fileira

(0,54). A princípio, parece insignificante, mas pensando em produção em larga escala, reduz-se significativamente a produtividade.

De acordo com Silva *et al.* (2012), o número de fileiras de grãos por espiga oscilou em média de 10,8 a 14,4 para os genótipos 1D21956 e 2B707, respectivamente, e o número de grãos por fileira variou de 15 a 32 com valor médio de 24,95, para os híbridos HPS0219 e SHS4080, respectivamente. Para os autores, esses componentes produtivos sofreram efeitos intensos de deficiência hídrica, que incidiu nas plantas no período 50 a 65 DAE, período que correspondeu ao florescimento, quando a cultura mais necessitava de água. Isso afetou diretamente na formação de grãos, acarretando no abortamento de muitos devido ao baixo suprimento de fotoassimilados aos ovários. Cardoso *et al.* (2011), em avaliações de desempenho de 36 híbridos de milho, verificaram que as plantas submetidas ao estresse hídrico apresentaram menor número de fileiras de grãos por espiga (NFE), com 14,81, em relação às plantas sem deficiência hídrica, com 15,40.

O ambiente com restrição hídrica proporcionou um menor número de grãos por fileira (NGPF) (28,61), com redução em torno de oito grãos por fileira (tabela 2). Resultados semelhantes foram relatados por Cardoso *et al.* (2011), que verificaram que as plantas submetidas a restrição hídrica apresentaram menor número de grãos por fileira, em relação às plantas sem deficiência hídrica.

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2004), a menor quantidade de sementes formadas em plantas submetidas ao déficit hídrico pode ser decorrente da não fertilização, pois, a formação do tubo polínico e sua inserção no estilete feminino só ocorrem se o estigma estiver bem hidratado. O abortamento de flores parece ser uma resposta à maior concentração de ácido abscísico (ABA) produzido sob condições de deficiência hídrica.

Importante ressaltar que o número de grãos por fileira é definido quando a planta de milho possui em torno de 12 folhas expandidas à fecundação. Então, pode-se inferir que esse período do ciclo é crítico para a definição da produtividade. Portanto, é quando os agricultores devem manejar a lavoura da forma mais adequada possível, em especial no que se refere à disponibilidade de nutrientes, controle de pragas e principalmente a suplementação hídrica (BALBINOT JÚNIOR *et al.*, 2005).

O ambiente sem restrição hídrica apresentou maiores valores para o peso de grãos (PG) e de 100 grãos (P100G) (tabela 2). Os híbridos avaliados não diferiram entre si em relação ao peso de grãos (PG), enquanto o peso de 100 grãos (P100G) apresentou diferença

significativa entre os híbridos, sendo que o híbrido BRS 1040 foi o que apresentou a maior média em relação ao híbrido BRS 1055, com valores de 33,21 e 28,66 g, respectivamente. Se a seca for severa durante o período de enchimento de grãos, este pode ser prejudicado e o peso médio de grãos reduzido (AMBAVARAM *et al.*, 2014). Bergamaschi *et al.* (2004) relataram na safra 1998/1999 que a redução na produção de grãos da área não irrigada pode ser atribuída, exclusivamente, à redução do peso de 100 grãos. Isso pode ter afetado a primeira etapa da fertilização (retardamento), que é a divisão celular, mais sensível ao déficit hídrico em relação às demais etapas.

Quando as plantas foram submetidas ao ambiente com restrição hídrica, observa-se uma redução de 24,76% da massa seca da parte aérea (Tabela 2). Nota-se que o híbrido BRS 1040 apresentou maior valor de matéria seca ( $12.836 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em relação ao BRS 1010 e DKB 390, e pode-se verificar que este resultado está coerente, pois este mesmo híbrido apresentou maior altura de planta, dando assim maior peso de matéria seca ao híbrido. O acúmulo de matéria seca é um fator importante que indica a eficiência de particionamento da assimilação fotossintética. Moura *et al.* (2016) relataram que quando a planta está com carência hídrica, esses assimilados derivados da fotossíntese são investidos no crescimento de raízes para induzi-las a explorar maior área de solo em busca de água no perfil do solo mais profundo. Deduz-se assim, que a produção de massa seca da parte aérea é reduzida ou estagnada quando está sob influência do déficit hídrico.

Resultados semelhantes foram encontrados por Costa *et al.* (2008), que verificaram uma redução de 38 e 34% na matéria seca da parte aérea para os genótipos M-21 e BR-106 respectivamente em relação a testemunha, quando foram submetidos ao nível de ponto de murcha permanente (PMP) aplicado no início do estágio reprodutivo da cultura do milho. Santos *et al.* (2014) avaliando o desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação em condições de casa de vegetação, observaram que após ter suspenso a irrigação por 21 dias logo após o período de 60 dias da emergência, verificaram uma redução da massa seca da parte aérea do milho em 45% sob condições de déficit hídrico. Bergonci *et al.* (2001) relataram redução da matéria seca da parte aérea do milho em até 46,30% quando o déficit hídrico coincidiu com o período crítico da cultura.

O híbrido DKB 390 apresenta-se com o menor conteúdo de matéria seca quando comparado ao BRS 1040 e o BRS 1055, com em torno de  $9.674 \text{ kg ha}^{-1}$ . Segundo Moura *et al.* (2016), o déficit hídrico pode afetar as concentrações de carboidratos na planta, por alterar,



basicamente, a eficiência com que os fotoassimilados são convertidos para o desenvolvimento de partes novas na planta. Resultados distintos foram encontrados por Carvalho *et al.* (2015), estudando o perfil agrônômico de 49 genótipos de milho, em que os híbridos BRS 1055 (19.613,34 kg.ha<sup>-1</sup>) e DKB 390 (20.021,34 kg.ha<sup>-1</sup>) são estatisticamente superiores ao híbrido BRS 1040 (11.687,34 kg.ha<sup>-1</sup>) para matéria seca da parte aérea.

Analisando a interação entre os ambientes e híbridos (A\*H) do intervalo entre o florescimento masculino e o feminino (IFMF), observa-se que somente os híbridos DKB 390 e BRS 1055 apresentaram diferenças significativas entre os ambientes (tabela 3). No ambiente sem restrição hídrica, os híbridos BRS 1040 e BRS 1055 foram semelhantes estatisticamente, enquanto o híbrido DKB 390 apresentou um maior intervalo de dias entre o florescimento masculino e o feminino (IFMF), mesmo sob condições normais de irrigação. Pode-se perceber que esse número de dias para atingir os florescimentos é um fator genético do híbrido, portanto, caso haja um fator estressante que prejudique o florescimento, poderá aumentar gradualmente esse intervalo, com consequências diretas na produtividade. Como foi observado no ambiente com restrição hídrica, o intervalo de florescimento do híbrido DKB 390 elevou-se ainda mais, mantendo-se como o híbrido que possui maior intervalo entre os florescimentos, e o BRS 1010 apresentou um menor intervalo entre os florescimentos (IFMF) quando comparado ao híbrido BRS 1055 e o DKB 390.

**TABELA 3.** Médias do intervalo de dias entre o florescimento masculino e feminino (IFMF) em híbridos de milho cultivados em ambientes com e sem restrição hídrica. Nova Porteirinha – MG, 2017.

Variável	Restrição hídrica	Híbridos			
		BRS 1040	BRS 1010	DKB 390	BRS 1055
IFMF	Sem	0,25 aA	1,00 aAB	2,75 aB	0,00 aA
	Com	0,75 aAB	0,25 aA	5,25 bC	2,00 bB

Médias seguidas por letras diferentes, maiúsculas na linha para híbridos e minúsculos na coluna para restrição hídrica diferem entre si pelo Tukey e teste F a 5% de significância, respectivamente.

O déficit hídrico, acompanhado de elevadas temperaturas, como foi observado alguns picos na figura 1, antecipa a emissão da inflorescência masculina e há atraso no surgimento da inflorescência feminina, aumentando assim o intervalo entre o pendoamento e o espigamento, afetando a polinização e, conseqüentemente, o número de grãos por espiga (MATZENAUER *et al.*, 1995). Teixeira *et al.* (2010) ressaltaram no seu trabalho que

devido a alta severidade do estresse hídrico em Janaúba, foi obtida uma considerável redução no rendimento de grãos. Isso ocorreu em virtude do maior intervalo de florescimento e ainda em função de algumas parcelas que não atingiram contagem de 50% plantas com flores visíveis, ou seja, ainda não atingiram o estágio de florescimento.

Souza *et al.* (2013) estudaram dois genótipos contrastantes a seca, em dois anos consecutivos e verificaram aumento do intervalo entre os florescimentos e observaram ainda que o híbrido DKB 390 sob condições ótimas de umidade no solo apresentou Intervalo florescimento masculino e feminino significativo de 1,50 dias em relação aos 2,75 dias do ambiente estressado no ano de 2011. Segundo Guimarães *et al.* (2013), avaliando o potencial de 122 híbridos de milho em cinco anos de cultivo, na estação experimental da Embrapa em Janaúba-MG, verificaram que os híbridos mais produtivos tendem a apresentar menores intervalos entre os florescimentos masculino e feminino, não sendo portanto uma regra geral.

De acordo com Guimarães *et al.* (2013), o estresse hídrico provoca atraso do florescimento feminino em relação ao florescimento masculino. Isso provoca falhas na fertilização por falta de sincronia entre a liberação do pólen e o surgimento dos estilo-estígmata, desidratação de estilo-estígmata e abortamento de óvulos. Diante disso, é interessante a seleção de cultivares que associem alto potencial produtivo com baixo intervalo entre florescimento masculino e feminino em regiões que apresentam elevado risco de ocorrência de déficits hídricos. Segundo Soares *et al.* (2011), inferiram em seu estudo que as características de florescimento feminino e intervalo de florescimento podem ser de grande utilidade para auxiliar no melhoramento vegetal para seleção de genótipos mais tolerantes ao processo de estresse hídrico, no entanto, não se pode esperar ganhos genéticos elevados pela seleção indireta.

Comparando-se os ambientes, nota-se que os híbridos BRS 1040, BRS 1010 e DKB 390 que foram cultivados no ambiente com restrição hídrica apresentaram maior número de plantas acamadas e quebradas em relação ao ambiente sem restrição hídrica (tabela 4), com em torno de 129, 143 e 119 plantas acamadas e quebradas ha<sup>-1</sup>. Somente o híbrido BRS 1055 manteve-se com o mesmo número de plantas acamadas e quebradas nos dois ambientes de cultivo. O maior número de plantas acamadas e quebradas reduz a produção da cultura, pois irá reduzir o estande por não possuir população de plantas suficientes para garantir altas produções ou estas plantas serão improdutivas, já que parte da via para translocação de

seiva e fotoassimilados para parte aérea e para os grãos estará parcialmente ou totalmente rompida, assim não irão produzir adequadamente ou não serão colhidos na colhedora.

O colmo do milho, além de suportar as folhas, partes florais e espigas, serve também como órgão de reserva de fotoassimilados. Quando a demanda transpiratória da cultura não é atendida e conseqüentemente, ocorre o fechamento dos estômatos e queda da fotossíntese, devido ao déficit hídrico resultando em menor produção de fotoassimilados e redução no acúmulo de reservas. Após a floração, o fluxo de fotoassimilados é direcionado prioritariamente ao enchimento de grãos. Restrições ambientais reduzem as taxas fotossintéticas em virtude do aparato fotossintético não produzir fotoassimilados em quantidade suficiente para a manutenção dos tecidos e a maior demanda exercida pelos grãos por esses produtos condiciona os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões (GOMES *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2012). Deste modo, quando a atividade das folhas for limitada, maior será o translocamento de fotoassimilados do colmo para os grãos, e assim fragiliza a estrutura de sustentação da planta, aumentando a sua suscetibilidade ao quebramento e acamamento (SANGOI *et al.*, 2001).

**TABELA 4.** Médias do número plantas acamadas e quebradas (PAC+PQ) em híbridos de milho cultivados em ambientes com e sem restrição hídrica. Nova Porteirinha – MG, 2017.

Híbridos	Restrição hídrica	
	Sem	Com
<b>BRS 1040</b>	81,63 (6.875) bA	129,28 (17.187,5) aAB
<b>BRS 1010</b>	71,75 (5.625) bA	143,15 (20.937,5) aA
<b>DKB 390</b>	0,70 (0) bB	119,04 (15.000) aAB
<b>BRS 1055</b>	97,61 (9.687,5) aA	92,22 (9.375) aB

Médias seguidas por letras diferentes, maiúsculas na coluna (para híbridos) e minúsculas na linha (para restrição hídrica) diferem entre si pelo teste F a um nível de 5% de significância. Valores entre parênteses correspondem aos valores originais, os dados sem transformação.

No ambiente sem restrição hídrica, apenas o DKB 390 apresentou o menor número de plantas acamadas e quebradas (0,70 por hectare) e praticamente não houve alteração da população final de plantas. Já o híbrido BRS 1010 cultivado no ambiente com restrição hídrica apresentou maior número de plantas acamadas e quebradas (143,15 plantas ha<sup>-1</sup>) quando comparado ao híbrido BRS 1055 (92,22 plantas ha<sup>-1</sup>). Segundo Gomes *et al.* (2010), observaram que existe variabilidade genética para a característica de resistência ao acamamento e ao quebramento do colmo em milho tropical e essa resistência interage

significativamente com o ambiente. Para Silva *et al.* (2012) provavelmente existem diferenças na resistência dos colmos, principalmente quando ocorre um fator estressante como o déficit hídrico. O maior número de plantas quebradas e acamadas pode estar relacionado ainda à maior altura de inserção da espiga, ao excesso dos ventos e chuvas, às alterações da umidade do solo, assim como a presença de doenças, como antracnose do colmo plantas (CASAGRANDE e FORNASIERE FILHO, 2002; CAMPOS *et al.*, 2010).

Observa-se no ambiente sem restrição hídrica, que os valores do número total de espigas (NTE) mantiveram estatisticamente semelhantes entre si, com médias variando entre 58.750 a 65.625 espigas ha<sup>-1</sup>(tabela 5). Câmara *et al.* (2007) observaram que o número médio de espigas de dez cultivares de milho variou de 44.992 a 57.979 espigas por hectare em condições normais de cultivo, sendo a cultivar BR-106 a que apresentou maior número de espigas.

**TABELA 5.** Médias do número total de espigas (NTE), do índice de espigas (IE), do rendimento de grãos (RG) e da eficiência do uso da água (EUA) dos híbridos de milho cultivados em ambientes com e sem restrição hídrica. Nova Porteirinha – MG, 2017.

Variáveis	Restrição hídrica	Híbridos			
		BRS 1040	BRS 1010	DKB 390	BRS 1055
NTE (ha <sup>-1</sup> )	Sem	59.375 aA	60.312 aA	58.750 Aa	65.625 aA
	Com	31.250 bA	18.437 bB	15.000 Bb	20.312bAB
IE	Sem	0,95 aA	0,96 aA	0,94 Aa	1,05 aA
	Com	0,50 bA	0,29 bB	0,24 bB	0,32 bAB
RG (kg ha <sup>-1</sup> )	Sem	5.806 aB	5.392 aB	8.212 aA	5.718 aB
	Com	2.153 bA	1.140 bA	1.134 bA	1.578 bA
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Sem	0,790 aB	0,734 aB	1,118 aA	0,778 aB
	Com	0,362 bA	0,191 bA	0,190 bA	0,265 bA

Médias seguidas por letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste F a um nível de 5% de significância.

Já para o ambiente com restrição hídrica, esse número de espigas diminuiu significativamente, com médias variando entre 15.000 a 31.250 espigas ha<sup>-1</sup>. Diferenciando-se estatisticamente dos demais, o híbrido BRS 1040 apresentou maior número de espigas quando comparado ao BRS 1010 e DKB 390, porém, mesmo assim, muito abaixo do ambiente sem restrição da irrigação (tabela 5). Houve uma redução de 47,37 % no número de espigas para esse híbrido quando foi cultivado no ambiente com restrição hídrica, enquanto os híbridos BRS 1010, DKB 390 e BRS 1055 apresentaram reduções de 69,44; 74,47

e 69,05 % respectivamente. Segundo Bergamaschi *et al.* (2004), a redução do número de espigas pode ser atribuída ao atraso provocado pelo déficit hídrico da emissão das espigas, o que pode levar muitas plantas a perderem sua capacidade de emissão de espigas por causa do estado debilitado em que se encontravam ao final da restrição hídrica.

Para o índice de espiga (IE), também denominado de prolificidade, foi verificado que o ambiente com restrição hídrica apresentou menores valores para todos híbridos avaliados, quando comparado ao ambiente irrigado normalmente, com reduções de 47,37, 69,8, 74,47 e 69,53% para o BRS 1040, BRS 1010, DKB 390 e BRS 1055, respectivamente (tabela 5). Cardoso *et al.* (2011), avaliando o desempenho de 36 híbridos de milho, verificaram que plantas submetidas à deficiência hídrica apresentaram menor índice de espiga (0,72) em relação às plantas sem deficiência hídrica (0,94).

No ambiente sem restrição hídrica não houve diferença significativa entre os híbridos avaliados, com índices próximos de 1. Isto significa que há pelo menos uma espiga por planta, o que garante uma boa prolificidade, que é o ideal para um híbrido produzir satisfatoriamente, e ocorreu devido às boas condições de umidade no solo. Já no ambiente com restrição hídrica, os híbridos BRS 1010 e o DKB 390 apresentaram menores índices de espigas quando comparados ao BRS 1040. As plantas que apresentaram índice de colheita abaixo de 1 não formaram completamente a espiga, apenas espigas pequenas e sem grãos ou, ainda, não atingiram o florescimento para que ocorresse a fecundação para o início da formação das espigas.

Noce *et al.* (2006) avaliaram diferentes cultivares de milho na região Central de Minas Gerais, para a produção de grãos e silagem e verificaram que o índice de espiga do BRS 1010 e DKB 390 não diferiram entre si, apresentando 1,02 e 1,04, respectivamente. Segundo Nascimento *et al.* (2011), enfatizaram que o índice de espigas reflete o ajustamento da população final de plantas e o requerimento adequado dos fatores do ambiente, principalmente luz e água. Quando o valor do índice espiga se aproxima de 1,00, significa que os fatores de população de plantas e ambientais estão melhores ajustados.

Farinelli *et al.* (2003), avaliando o desempenho agrônômico de 15 cultivares de milho nos períodos de safra e safrinha, verificaram quanto ao índice de espiga por plantas apresentaram variação entre 0,43 e 0,96 e com valor médio de 0,79; segundo os autores, esses resultados indicam uma elevada quantidade de plantas com ausência de espigas e ainda a quantidade de cultivares não prolíferas é predominante. Silva *et al.* (2012)

observaram que o índice de espiga oscilou de 0,54 com a cultivar GNZ 2500 e 1,50 para a cultivar CD 308, com valor médio de 0,95, o que evidencia uma baixa prolificidade de certos genótipos, resultando em um elevado número de plantas sem presença de espigas e cultivares não prolíferas.

Quanto à eficiência do uso da água (EUA), todos híbridos apresentaram maior eficiência no ambiente sem restrição hídrica em comparação ao ambiente com restrição (tabela 5). O híbrido mais eficiente foi o DKB 390 no ambiente sem a presença da restrição hídrica, enquanto, os demais foram semelhantes estatisticamente. Os valores de EUA seguiram a mesma tendência observada no rendimento de grãos. Não houve diferença estatística no ambiente com restrição hídrica.

Almeida *et al.* (2017) avaliaram na região de Dourados-MS diferentes estratégias de manejo hídrico sobre a produtividade e a eficiência de uso da água na cultura do milho e verificaram que o híbrido triplo DG-501 sob condições de sequeiro apresentou EUA de 0,83 kg m<sup>-3</sup>, enquanto sob condições irrigadas apresentou EUA variando de 1,13 até 1,29 kg m<sup>-3</sup>. Segundo os autores, o fator que mais colabora para alcançar uma boa eficiência de uso da água é a obtenção de maiores rendimentos de grãos.

Souza *et al.* (2011) verificaram que em milho cultivado em sistema de plantio exclusivo, a eficiência do uso de água (EUA) aumentou gradativamente com o incremento da lâmina de água aplicada, observando uma maior eficiência com a lâmina de 125% da evapotranspiração de referência. Segundo os autores, esse comportamento pode ser explicado devido à cultura conseguir alcançar maior resposta produtiva ao incremento da lâmina de água. Segundo Bergamaschi *et al.* (2006), a irrigação máxima proporcionou aumento próximo a 70% no rendimento de grãos de milho, em relação à cultura não irrigada. Os autores descreveram que para cada milímetro de água aplicada por irrigação, durante todo o ciclo da cultura do milho, proporcionou um acréscimo de 20,3 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, na lâmina máxima de irrigação e o rendimento variou de, aproximadamente, 7,5 t ha<sup>-1</sup> até 12,5 t ha<sup>-1</sup>.

Os resultados dessa pesquisa para EUA indicam que o manejo hídrico e o suprimento adequado durante o ciclo da cultura, em especial no período crítico ao déficit hídrico do milho, por meio da irrigação, é fundamental para obter bons rendimentos de grãos na região norte de Minas Gerais.

É fácil observar que a restrição hídrica alterou significativamente os componentes de produção (tabela 2), que, por conseguinte, afetaram direta e, indiretamente, a produtividade. Sendo assim, acarretou na superioridade do rendimento de grãos (RG) do ambiente sem restrição hídrica sobre o ambiente com presença de restrição hídrica (tabela 5).

O rendimento de grãos (RG) dos híbridos de milho apresentou valores acima da média brasileira (tabela 5), correspondente à safra 2017/2018, cuja produtividade foi de 4.890 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). Esse ótimo valor de produtividade observada em condições plenas de irrigação dos híbridos de milho se deve à maior eficiência do uso da radiação solar e da translocação de fotoassimilados para o enchimento de grãos, o que proporcionou o aumento do rendimento de grãos do milho. Dessa forma, os híbridos de milho puderam expressar o seu maior potencial genético, o que não aconteceu no ambiente estressado.

O genótipo DKB 390 apresentou maior produtividade de grãos (8.212,50 kg ha<sup>-1</sup>) quando submetido a melhores condições de cultivo, com irrigação plena. A superioridade desse genótipo em relação aos demais híbridos observada neste trabalho está relacionada à sua característica de maior diâmetro de espiga, conseqüentemente, maior número de fileiras de grãos (NFG) (tabela 2), acarretando, assim, maior produtividade de grãos. Portanto, foram as características do número de fileiras de grãos (NFG), diâmetro de espigas (DE) e menor número de plantas acamadas e quebradas (PAC+PQ) (tabela 4) que contribuíram muito para a definição da produção deste híbrido.

De acordo com Balbinot Jr *et al.* (2005), as variedades que apresentaram as maiores produtividades de grãos demonstram possuir alto número de grãos por fileira, pois, por meio de análise de trilha, os autores verificaram que o número de grãos por fileira foi o componente de rendimento que apresentou a maior correlação total com a produtividade, superando os demais componentes. Os demais genótipos apresentaram valores de produtividade estatisticamente semelhantes no ambiente sem restrição hídrica.

Resultados semelhantes foram relatados por Borghi *et al.* (2016), que verificaram em condições normais de cultivo, ou seja, ausência de estresse hídrico, que o híbrido DKB 390 foi estatisticamente superior aos híbridos BRS1055 e BRS 3040 para a produtividade de grãos, apresentando respectivamente, 9.759 kg ha<sup>-1</sup>, 8.883 kg ha<sup>-1</sup> e 7.951 kg ha<sup>-1</sup>. Guimarães *et al.* (2013), avaliando o potencial de 122 híbridos de milho, em cinco anos de cultivo, na estação experimental da Embrapa em Janaúba-MG, verificaram que os híbridos comerciais

DKB 390 e BRS 1055 apresentaram médias de produtividade de grãos acima da média geral, sendo o híbrido DKB 390 dentre os dez híbridos mais produtivos.

Resultados divergentes foram observados por Carvalho *et al.* (2015), que, estudando o perfil agrônomico de 35 genótipos de milho, não encontrou diferenças significativas na produtividade de grãos para os híbridos BRS 1040, BRS 1055 e DKB 390, apresentando produtividades médias de 7,91; 8,73 e 8,33 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Noce *et al.* (2006) avaliaram diferentes cultivares de milho na região Central de Minas Gerais, para a produção de grãos e silagem, e verificaram que os BRS 1010 e DKB 390 não diferiram entre si para a produtividade de grãos, apresentando 6.107 e 7.348 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Não foi observada diferença significativa entre os híbridos quando estes foram submetidos ao ambiente com restrição hídrica, obtendo assim, produtividades médias variando de 1.134,37 a 2.153,12 kg ha<sup>-1</sup>. Houve uma redução de 86,19% da produtividade de grãos quando o híbrido DKB 390 foi cultivado em um ambiente com restrição hídrica, sendo, portanto, o híbrido que apresentou a maior redução, ao passo que houve redução de 62,92; 72,41 e 78,85% do rendimento de grãos para os híbridos BRS 1040, BRS 1055 e BRS 1010, respectivamente (Tabela 5). As grandes diferenças encontradas para a produtividade de grãos dos híbridos de milho sob restrição hídrica evidenciaram diferentes níveis de tolerância a seca, assim como também relatado por Adebayo *et al.* (2014), que encontraram diferenças genéticas para expressão de genes de tolerância à seca em genótipos de milho submetidos a condições de estresse hídrico.

Resultados semelhantes foram relatados por Bergonci *et al.* (2001), que observaram uma redução no rendimento médio de grãos do milho em até 63,3% quando o déficit hídrico ocorreu no período crítico da cultura. Guimarães *et al.* (2013) verificaram que a imposição do estresse por deficiência hídrica 45 dias após o plantio até o período de colheita provocou redução de 49,9% na produtividade de grãos, comparando-se à média geral dos ensaios sob estresse de seca (4.846 kg.ha<sup>-1</sup>) em relação ao com irrigação (9.669 kg ha<sup>-1</sup>). Assim, os autores propuseram que a seleção de híbridos mais tolerantes à seca foi possível, pois o nível de estresse imposto foi suficiente para a expressão de alelos favoráveis para a tolerância ao estresse hídrico.

De acordo com Bergamaschi *et al.* (2004), o déficit hídrico causou um forte impacto na produtividade de grãos não irrigada, que se manteve abaixo de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto a área irrigada produziu cerca de 10.000 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2002/03, isto evidencia a elevada



necessidade de água pelo milho no período crítico. Os autores observaram que nessa mesma safra as plantas de milho apresentaram um grande número de espigas sem grãos ou espigas com poucos grãos. Isso se deve ao fato de que as plantas emitiram a inflorescência masculina no momento em que se iniciou o déficit hídrico. Nessa condição, muitas atrasaram a emissão das espigas, 63 dias após semeadura, quebrando o sincronismo entre emissão dos estigmas e liberação do pólen, justificando a ocorrência de espigas com poucos grãos ou sem grãos.

É importante salientar que apesar dos híbridos BRS 1010 e BRS 1040 serem considerados sensíveis ao déficit hídrico pela descrição da literatura, esses híbridos apresentaram estatisticamente a mesma produtividade de grãos em relação aos híbridos tolerantes à seca. O híbrido BRS 1040 apresentou ótimos resultados de matéria seca, área foliar, altura de planta, diâmetro de espiga e comprimento de espiga, no entanto, apresentou valor de produtividade semelhante aos híbridos BRS 1010 e BRS 1055 no ambiente sem restrição hídrica. Segundo Balbinot Jr *et al.* (2005) e Lopes *et al.* (2007), o rendimento de grãos de milho é determinado, principalmente, pela diferença de densidade de plantas, do número de espigas encontradas por planta (prolificidade), número médio de fileiras de grãos por espiga, número médio de grãos por fileira e, por fim, do peso médio do grão, os quais podem variar com o tipo de híbrido utilizado.

Resultados semelhantes foram verificados por Souza *et al.* (2018), que identificando híbridos com maiores rendimentos de grãos sob condições de déficit hídrico e irrigação plena, verificaram que o híbrido BRS 1040 apresentou produtividade de 5,87 t ha<sup>-1</sup> sob condições de irrigação, no entanto, sob influencia do déficit hídrico, este híbrido reduziu 66,61% o rendimento de grãos, apresentando 1,96 t ha<sup>-1</sup>.

Neste estudo verifica-se que o comprimento de espiga (CE), número de grãos por fileira (NGPF), peso de grão (PG), peso de 100 grãos (P100G), número total de espigas (NTE) são os componentes de produção que mais foram afetados pela restrição hídrica, sendo, assim, os principais componentes que reduziram expressivamente o rendimento de grãos do milho. De acordo com Balbinot Jr (2005) o número de grãos por fileira é o componente de rendimento que mais contribui na definição da produtividade de grãos. Já segundo Bergamaschi *et al.* (2004), concluíram em seu trabalho que o número de grãos por espiga e o número de espigas por planta são os componentes da produção de grãos mais afetados pelo déficit hídrico, quando este ocorre durante o período crítico do milho.

#### **4. CONCLUSÕES**

A restrição hídrica durante o pré-florescimento reduziu de 62,92 a 86,19% o rendimento de grãos.

A restrição hídrica imposta do início do pré-florescimento ao final do ciclo não influenciou no rendimento de grãos dos híbridos de milho.

O híbrido DKB 390 possui maiores rendimentos de grãos e eficiência de uso da água e menor número de plantas acamadas e quebradas sob condições adequadas de irrigação, sem estresse hídrico.

## REFERÊNCIAS

- ADEBAYO, M. A.; MENKIR, A.; BLAY, E.; GRACEN, V.; DANQUAH, E.; HEARNE, S. Genetic analysis of drought tolerance in adapted x exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. **Euphytica**, v. 196, 261 p. 2014.
- ALMEIDA, A. C.; BONIFÁCIO, J.; PUSCH, M.; DE OLIVEIRA, F. C.; GESEINHOFF, L. O.; BISCARO, G. A. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1448, 2017.
- AMBAVARAM, M. M.; BASU, S.; KRISHNAN, A.; RAMEGOWDA, V.; BATLANG, U.; RAHMAN, L.; PEREIRA, A. Coordinated regulation of photosynthesis in rice increases yield and tolerance to environmental stress. **Nature communications**, v. 5, p. 5302, 2014.
- BALBINOT JR, A. A.; BACKES, R. L.; ALVES, A. C.; OGLIARI, J. B.; FONSECA, J. A. da. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 11, n. 2, 2005.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p.243-249, 2006.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. **Porto Alegre: Emater/RS-Ascar**, p. 11, 2014.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p.949-956, 2001.
- BORGHI, E.; WILDA, L.; de RESENDE, A. V.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, R. Índice de vegetação, teor de clorofila e eficiência de uso de nitrogênio por híbridos de milho. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar. **Anais... Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, 2016., 2016.
- CÂMARA, T. M. M.; BENTO, D. A. V. ALVES, G. F.; SANTOS, M. F.; MOREIRA, J. U. V. SOUZA JÚNIOR, C. L. de; Parâmetros genéticos de caracteres relacionados à tolerância à deficiência hídrica em milho tropical. **Bragantia**, Campinas v.66, n.4, p.595-603, 2007.

CAMPOS, M. C. C.; SILVA, V. A. da.; CAVALCANTE, Í. H. L.; BECKMANN, M. Z. Produtividade e características agronômicas de cultivares de milho safrinha sob plantio direto no Estado de Goiás. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 8, n. 1, p. 77-84, 2010.

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; PARENTONI, S.; GUIMARAES, L.; GUIMARAES, P. D. O.; ROCHA, L. Fenotipagem de milho para tolerância a deficiência hídrica e ao calor, em Teresina, Piauí. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros. **Anais...** Guarapari: Incaper, 2011.

CARVALHO, A. F. G.; MARTIN, T. N.; SANTOS, S.; MÜLLER, T. M.; PIRAN FILHO, F. A. Perfil agrônomo e bromatológico de silagem de milho no sudoeste do Paraná. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 114, n. 2, p. 149-159, 2015.

CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Décimo segundo levantamento, setembro 2018**, v. 5, n. 12, 2018.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 4ª ed. Piracicaba: Livrocere, 2004, 360 p.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; BORDIN, L.; COICEV, L.; FORNASIERI FILHO, D. Desempenho agrônomo de cultivares de milho nos períodos de safra e safrinha. **Bragantia**, p. 235-241, 2003.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GOMES, L. S.; BRANDÃO, A. M.; de BRITO, C. H.; MORAES, D. F. de.; LOPES, M. T. G. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebramento do colmo em milho tropical. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 45, n. 2, p. 140-145, 2010.

GUIMARÃES, L. J. M.; MENDES, F. F.; GUIMARAES, P. D. O.;PACHECO, C. A. P.;MEIRELLES, W. F.; MACHADO, J. D. A.; da SILVA, A. R.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; CARNEIRO, N. P.;PARENTONI, S. N.; MOREIRA, M.P. Desempenho de híbridos de milho sob estresse de seca. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia. Variedade melhorada: a força da nossa agricultura. **Anais...** Viçosa, MG: SBMP, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. 2018. Acesso em novembro de 2018, Disponível em INMET: <http://www.inmet.gov.br/portal/>

LOPES, S. J.; STORCK, L.; PERIN DAMO, H.; BRUM, B.; DOS SANTOS, V. J. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, 2007.

MATZENAUER *et al.* Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.

NASCIMENTO, F. M.; BICUDO, S. J.; RODRIGUES, J. G. L.; FURTADO, M. B.; CAMPOS, S. Produtividade de genótipos de milho em resposta à época de semeadura. **Ceres**, v. 58, n. 2, 2011.

NOCE, M. A.; ALBERNAZ, W. M.; CRUZ, J. C.; NETO, M. M. G.; FILHO, I. A. P.; de MORAIS, F. A.; MONTEIRO, M. A. R. Cultivares de milho para a produção de grãos e forragem na região Central de Minas Gerais. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, *Spodoptera frugiperda*, 2.; **SIMPÓSIO SOBRE *colletotrichum graminicola***, 1., 2006, Belo Horizonte. Inovação para sistemas integrados de produção: trabalhos apresentados. [Sete Lagoas]: ABMS, 2006., 2006.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. D.; LECH, V. A.; GRACIETTI, L. C.; RAMPAZZO, C. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 271-276, 2001.

SILVA, M. R. da.; MARTIN, T. N.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P.; VONZ, D. Desempenho agrônomico de genótipos de milho sob condições de restrição hídrica Agronomic performance of maize genotypes under conditions of water restriction. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 202-212, 2012.

SOARES, F. R. *et al.* **Correlações entre características de milho sob estresse hídrico**. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil.[Búzios]: SBMP, 2011., 2011.

SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 70, n. 3, 2011.

SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; LINO, L. O.; ALVES, E. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 3201-3211, 2013.

SOUSA, R. S. de.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; PEREIRA, D. R. Identification of drought-tolerant corn genotypes by multivariate analysis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 3, p. 204-211, 2018.

TEIXEIRA, F. F.; GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T.; LEITE, C. E. P.; PARENTONI, S. N.; GUIMARÃES, P. E. O.; GUIMARÃES, L. J. M.; SILVA, A. R.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. Evaluation of maize core collection for drought tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, n.4, p.312-320, 2010.