

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**DIFERENTES CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO NO
DESENVOLVIMENTO DE MILHOS TRANSGÊNICO E
CONVENCIONAL**

HUGO ALEXANDRE COELHO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Outubro – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DIFERENTES CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO NO
DESENVOLVIMENTO DE MILHOS TRANSGÊNICO E
CONVENCIONAL**

HUGO ALEXANDRE COELHO

Orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Outubro – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C672d Coelho, Hugo Alexandre, 1986-
Diferentes condições de estresse hídrico no desenvolvimento de milhos transgênico e convencional / Hugo Alexandre Coelho. - Botucatu : [s.n.], 2013
vii, 93 f. : tabs., ils. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013

Orientador: Hélio Grassi Filho

Inclui bibliografia

1. Milho - Produção. 2. Milho - Biotecnologia. 3. Milho - Irrigação. 4. Plantas transgênicas. I. Grassi Filho, Hélio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

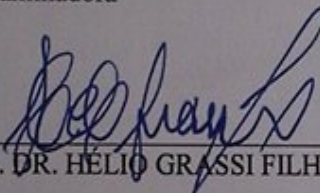
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DIFERENTES CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO NO
DESENVOLVIMENTO DE MILHOS TRANSGÊNICO E
CONVENCIONAL"

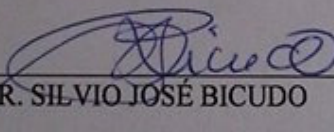
ALUNO: HUGO ALEXANDRE COELHO

ORIENTADOR: PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO

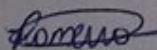
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO



PROF. DR. SILVIO JOSÉ BICUDO



PROF. DR. JÚLIO CÉSAR THOALDO ROMEIRO

Data da Realização: 23 de setembro de 2013.

OFEREÇO

Aos meus pais Valdinei Aparecido Coelho e Célia Aparecida
Capovilla Coelho pelo apoio e incentivo para vencer mais uma etapa
em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar todos os dias em minha vida;

À toda minha família, em especial, meus pais e a minha irmã Juliana;

À Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP/Botucatu - SP), em especial à ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais e ao Departamento de Engenharia Rural e todos seus funcionários pela ajuda;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa;

À meu orientador Prof. Dr. Hélio Grassi Filho pelos ensinamentos transmitidos, apoio e confiança;

Aos professores Silvio José Bicudo e João Carlos Cury Saad pela atenção e auxílio oferecidos durante a condução do presente trabalho;

Aos meus amigos Raphael Travaglini (Atta), Felipe Gabriel (Banheta), Rafael Ferraz (Chaves), Bernardo (Potter), Thomas Miorini (Lucélia), Ramilos Brito, Thomas Fiore de Andrade (Derrotado), Júlio Cesar Thoaldo Romeiro (Cascavel), Rodrigo Domingues Barbosa (Tuvira), Marcella Menegale (Canola), Ana Carolina Soares (Topera), Natália Ceragioli (Xuta), Lais Lorena, Ana Paula, João Queluz, Milena Lozano, Tiago Alexandre, por esses anos de convívio com muitas festas, diversão, mas também muitos trabalhos;

À todos ex-moradores e atuais da República Monte Olimpo, os quais tive o prazer de conviver e desfrutar de vários almoços;

A todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista.

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1- INTRODUÇÃO	4
2- REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1- A cultura do milho	6
2.2- Importância da irrigação na cultura do milho	9
2.3- Efeitos do estresse hídrico nas culturas.....	10
2.4- Estresse hídrico na cultura do milho	12
2.5- Alterações metabólicas em plantas submetidas a estresse hídrico.....	15
2.6- Enzimas oxidativas (SOD, POD e CAT)	18
2.7- Biotecnologia ou transgênicos	20
2.8- Transgênicos resistentes as principais pragas na cultura do milho	22
3- MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1- Localização da área experimental	25
3.2- Caracterização do solo	25

3.3- Características químicas do Solo	26
3.4- Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos.....	27
3.5- Descrição do híbrido de milho	29
3.6- Condução do experimento.....	30
3.6.1- Época anterior à sementeira:	30
3.6.2 Instalação dos tensiômetros.....	30
3.6.3- Época de sementeira até colheita	32
3.7- Características avaliadas:	33
3.8- Análise Estatística	37
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1- Características biométricas.....	38
4.2 Características produtivas.....	42
4.3- Matéria Seca.....	50
4.4- Análise Foliar	54
4.5- Enzimas Oxidativas.....	56
4.6- Irga	61
4.7- Índice de Colheita.....	68
5- CONCLUSÕES.....	71
6- REFERÊNCIAS.....	72

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1- Atributos físico do solo.	26
Tabela 2- Análise do solo antes da calagem.	26
Tabela 3- Tensões relativas ao longo do perfil do solo.	29
Tabela 4- Características biométricas do milho em relação ao milho.	38
Tabela 5- Características biométricas do milho em relação à água.	42
Tabela 6- Características produtivas do milho em relação ao milho.	43
Tabela 7- Características produtivas do milho em relação à água.	46
Tabela 8- Matéria Seca de caule, folha e raiz do milho em relação ao milho.	51
Tabela 9- Matéria Seca de caule, folha e raiz do milho em relação à água.	52
Tabela 10- Análise foliar de macronutrientes em relação ao milho.	55
Tabela 11- Análise foliar de micronutrientes em relação ao milho.	55
Tabela 12- Análise foliar de macronutrientes do milho em relação à água.	56
Tabela 13- Análise foliar de micronutrientes do milho em relação à água.	56
Tabela 14- Primeira análise das enzimas SOD, POD, CAT 14 dias após o início do estresse hídrico para o milho.	57
Tabela 15- Primeira análise das enzimas SOD, POD, CAT 14 dias após o início do estresse hídrico para à água.	58
Tabela 16- Segunda análise das enzimas SOD, POD, CAT 40 dias após o início do estresse hídrico para o milho.	59
Tabela 17- Segunda análise das enzimas SOD, POD, CAT 40 dias após o início do estresse hídrico para à água.	60
Tabela 18- Primeira leitura do Irga 20 dias após o início do estresse hídrico para o milho.	61
Tabela 19- Primeira leitura do Irga 20 dias após o início do estresse hídrico para à água.	63
Tabela 20- Segunda leitura do Irga 48 dias após o início do estresse hídrico para o milho.	66
Tabela 21- Segunda leitura do Irga 48 dias após o início do estresse hídrico para à água.	68
Tabela 22- Índice de colheita em relação ao milho.	69
Tabela 23- Índice de colheita em relação a água.	70

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1- Croqui da área experimental.....	28

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.), uma das gramíneas de maior importância econômica do mundo, é cultivado em países de clima tropical, subtropical e de clima temperado. No Brasil a produção de milho tem-se caracterizado pela divisão em duas épocas de semeadura, a semeadura de verão, ou primeira safra, e mais recentemente, temos a produção obtida na safrinha, ou segunda safra. O estresse hídrico é a maior fonte de instabilidade do rendimento de grãos de milho, em áreas de milho, e as estimativas de perdas na produção de milho, causadas pelo déficit hídrico, estão entre 14% e 28% do total produzido, estudos envolvendo o milho nesse segmento podem trazer melhorias no rendimento da cultura em diversas regiões. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos fisiológicos, biométricos e produtivos do estresse hídrico no híbrido de milho 2B587 e seu isogênico 2B587 Hx. O experimento foi conduzido em ambiente protegido do Departamento de Solos e Recursos Ambientais - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, campus de Botucatu, SP. Localizado entre os paralelos 22°30' a 23°05' de latitude sul e os meridianos 48°15' a 48°52' de longitude Oeste de Greenwich, e altitude média de 830 metros. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 5 repetições, em esquema fatorial 2 X 4, sendo o primeiro fator o híbrido de milho convencional e o híbrido de milho transgênico (Hx), e o segundo fator representa os quatro diferentes estresse hídrico, correspondentes a irrigar quando a tensão de água no solo atingir 16.6, 22.4, 31.1, 45.2 Kpa. Conclui-se que o fator água é de extrema importância para a desenvolvimento do milho, sendo

que o aumento do estresse hídrico ocasionou um grande decréscimo de produtividade, portanto, é inevitável um manejo adequado, focando a melhor utilização dos recursos hídricos, possibilitando explorar o máximo potencial da cultura do milho.

Palavras-chave: Biotecnologia, *Zea mays*, Produtividade, Eficiência da Água, Efeitos Fisiológicos, Enzimas

DROUGHT STRESS AND ITS EFFECTS ON THE DEVELOPMENT OF TRANSGENIC AND CONVENCIONAL MAIZE CROPS. Botucatu, 2013. 93p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Hugo Alexandre Coelho

Adviser: Hélio Grassi Filho

SUMMARY

The corn (*Zea mays* L.), is one of the most economically important grasses of the world, is grown in tropical, subtropical and temperate countries. In Brazil, corn production has been characterized according to two different seasons of sowing: summer plantation, or first crop-rotation, and “safrinha” or second crop, most recently implemented in the system of cultivation of maize. Drought stress is a major source of instability in the yield of maize, and estimates of losses in maize production caused by water deficit are between 14 % and 28 % of total production. Studies developed in different regions in the country can help to improve crop yield. The aim of this study was to evaluate the physiological, biometric and productive effects of water stress in both maize hybrid variety and its isogenic 2B587 2B587 Hx. The experiment was conducted in a greenhouse of the Department of Soil and Environmental Resources - College of Agricultural Sciences of UNESP, Botucatu, SP. The experimental design was randomized blocks with five replications in a factorial 2 X 4. The first factor was the conventional hybrid corn and hybrid transgenic maize (Hx), and the second factor represented the four different water stress conditions, corresponding to irrigate when the soil water tension reached 16.6 , 22.4 , 31.1 and 45.2 kPa . It can be concluded that the water factor is of utmost importance for the development of corn. The increase of water stress condition in the plant caused a large decrease in productivity. It shows that it is inevitable the proper crop management and monitoring, in order to focus on the efficient use of water resources and to be able to explore the maximum potential of maize productivity.

Keywords: Biotechnology, *Zea mays*, Productivity, Water Efficiency, Physiological Effects, Enzymes

1- INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), uma das gramíneas de maior importância econômica do mundo, é cultivado em países de clima tropical, subtropical e de clima temperado. No Brasil a produção de milho tem-se caracterizado pela divisão em duas épocas de plantio. A semeadura de verão, ou primeira safra, são realizados na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre o fim de agosto até os meses de outubro a novembro, e mais recentemente, temos a produção obtida na safrinha, ou segunda safra, plantado entre janeiro e março, quase sempre depois da soja precoce.

O estresse pela baixa disponibilidade hídrica é um dos principais problemas da agricultura e a habilidade das plantas para resistir a tal estresse é de suma importância para o desenvolvimento do agronegócio de qualquer país, principalmente em grandes culturas como o milho. Portanto, é de extrema relevância os estudos de tolerância à seca envolvendo o milho, podendo trazer melhorias em um futuro próximo, notamos que o crescimento e o rendimento da cultura é altamente afetado em regiões com limitação hídrica, vista o milho ser conhecido pela alta sensibilidade a este estresse.

Além do estresse hídrico, temos outros fatores ligados a perda de produtividade, portanto, existe o desafio de criar métodos avançados e eficientes para aumentar a produção de alimentos e energia renovável sem, contudo, esgotar os recursos naturais. Nesse cenário, a biotecnologia de plantas ocupa papel central na busca de soluções

para atenuar os problemas, atuais e futuros, causados pelo estilo de vida adotado pelo homem. Atualmente, a produção de transgênicos está difundida em praticamente todas as regiões agrícolas do planeta, e a adoção da biotecnologia pelos produtores atingiram níveis nunca alcançados por outras tecnologias avançada, em toda história da agricultura. O Brasil ocupa o segundo lugar entre os países com maior área cultivada com transgênicos no mundo, cerca de 25,4 milhões de hectares, atrás apenas dos Estados Unidos com 66,8 milhões de hectares.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos fisiológicos, biométricos e produtivos do estresse hídrico no híbrido de milho 2B587 e seu isogênico 2B587 Hx, portador do evento de biotecnologia. O experimento foi instalado em ambiente protegido, em blocos casualizados, com esquema fatorial 2×4 , sendo o primeiro fator, o híbrido de milho convencional e o híbrido de milho transgênico, e o segundo fator representa os quatro manejos hídricos correspondentes a irrigar quando a tensão de água no solo atingiam 16.6, 22.4, 31.1 e 45.2 Kpa.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1- A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.), uma das gramíneas de maior importância econômica do mundo, é cultivado em países de clima tropical, subtropical e de clima temperado. Pertencente a família Poaceae, sua origem é americana, mormente do México, sendo domesticado pelos povos da América Central e disseminado pelo mundo inteiro (PATERNIANI et al., 2000).

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão na alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, cerca de 70% (BEZERRA et al., 2008).

As cultivares de milho são classificadas em variedades ou híbridos. A variedade possui polinização aberta e representa um conjunto de plantas com características comuns, material geneticamente estável e de alta variabilidade, o que lhe confere maior estabilidade de produção em relação ao híbrido em condições adversas, porém normalmente menor potencial produtivo. No entanto, o híbrido é caracterizado por sua procedência genitora, sendo o híbrido simples, por exemplo, obtido a partir do cruzamento de duas linhagens endogâmicas, o que lhe confere alta uniformidade genética, morfológica e fenológica, porém

pouca variabilidade genética, necessitando de condições edafoclimáticas favoráveis e disponibilidade adequada de nutrientes para expressar seu alto potencial produtivo (ARGENTA et al., 2003).

O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta, durante o seu ciclo, está em torno de 600 mm, apresentando relativa tolerância à limitação hídrica durante a fase vegetativa, porém apresenta extrema sensibilidade na fase reprodutiva. Estudos revelam que dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, e quatro a oito dias no estágio de enchimento de grãos diminuem em mais de 50%. O aumento na deposição de matéria seca nos grãos está intimamente relacionado à fotossíntese uma vez que o estresse é afetado neste processo, reduz a produção de carboidratos, implicando em menor acúmulo de matéria seca nos grãos (MAGALHÃES et al., 2002).

A produção de milho no Brasil tem-se caracterizado pela divisão em duas safras de plantio. A semeadura de verão, ou primeira safra, são realizadas na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto até os meses de outubro a novembro, e mais recentemente, temos a produção obtida na safrinha, ou segunda safra. A safrinha refere-se ao milho de sequeiro, semeado entre fevereiro ou março, quase sempre depois da soja precoce, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Verifica-se nas últimas safras, um decréscimo na área plantada no período da primeira safra, mas que tem sido compensado pelo aumento dos plantios na safrinha e no aumento do rendimento agrícola das lavouras de milho. Embora realizados em uma condição desfavorável de clima, os sistemas de produção da safrinha tem sido aprimorados e adaptados a essas condições, o que tem contribuído para elevar os rendimentos das lavouras também nessa época (EMBRAPA, 2011). Corroborando Tsucheniro e Ferreira (2005), notaram que o plantio de milho na safrinha estava aumentando significativamente. Nesse estudo realizado, entre os anos de 1992 a 2005, o aumento foi de 13,8% ao ano, devendo-se o fato à expansão da área plantada e incremento da produtividade, com contribuição de 63,5% e 36,5%, respectivamente.

O milho safrinha, ou seja, segunda safra é geralmente conduzido sem irrigação e em sucessão ao cultivo de primavera-verão, representando uma alternativa

econômica de uso do solo em períodos após o da safra normal, ou seja, safra verão. Além disso, possibilita à obtenção de melhores preços devido a menor oferta do produto nessa época (PICANÇO et al., 2004).

A produção de milho tem aumentado de forma significativa, fato que se dá pelo uso de cultivares cada dia mais adaptados as condições do meio em que são cultivados, mas isso não acontece em todas as propriedades do Brasil (SILVA, 2009).

Na maioria das áreas cultivadas com milho no mundo, a ocorrência de seca ou períodos de estresse hídrico são fatores abióticos causadores de substanciais reduções na sua produtividade. No Brasil, as áreas cultivadas com milho são predominantemente desenvolvidas sem irrigação e mesmo em anos regulares de precipitação pluvial observam-se, normalmente, perdas na produção em virtude de períodos de estiagem denominados “veranicos”. As oscilações nas safras de milho, das principais regiões produtoras do Brasil, estão associadas à disponibilidade de água, sobretudo no período crítico da cultura. Por isso é fundamental avaliar os efeitos da disponibilidade hídrica durante todo ciclo da cultura. Os efeitos dos fatores climáticos no crescimento e desenvolvimento, assim como, a partição de assimilados entre os órgãos são importantes nas taxas de crescimento da cultura (NORMAN et al., 1995).

Quando o assunto é biotecnologia, o milho é uma das culturas mais difundidas entre os alimentos transgênicos, e também podemos destacar que algumas variedades de milho não comerciais e selvagens são cultivadas ou armazenadas em bancos de germoplasma para adicionar diversidade genética durante processos de seleção de novas sementes para uso, inclusive milho transgênico (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2007).

Para demonstrar a grande importância do milho como cultura e também a importância da biotecnologia atualmente no mercado, um dado importante é que na safra 2011/12, foram disponibilizadas 489 cultivares de milho, sendo 316 cultivares convencionais e 173 cultivares transgênicas. A dinâmica de renovação das cultivares foi mantida, sendo que 72 novas cultivares foram acrescentadas e 81 cultivares deixaram de ser comercializadas. Entretanto, o perfil das cultivares que entraram e saíram do mercado foi bastante diferente quando se compara as convencionais e as transgênicas. Houve um significativo aumento do número de cultivares transgênicas disponíveis no mercado, onde 57

novas foram disponibilizadas no mercado, substituindo 20 cultivares transgênicas que deixaram de ser comercializadas. Por outro lado, entre as cultivares convencionais apenas 15 novas entraram no mercado, enquanto 61 deixaram de ser comercializadas (CRUZ et al., 2011).

Nos EUA, mais de 80% do milho plantado é transgênico, e na Argentina e no Brasil a produção de híbridos transgênicos é crescente também. Segundo a AGROW (2011), o milho transgênico traz um aumento médio de 8% na produtividade.

2.2- Importância da irrigação na cultura do milho

Machado (2008) mostrou resultados com produtividades médias de 6.000 kg ha⁻¹ para o milho de sequeiro e 10.000 kg ha⁻¹ para o milho irrigado em Unai/MG, diferença de 66%. Bergamaschi et al. (2004) assinalam que a produtividade média do milho no estado do RS variou de 2.097 kg ha⁻¹ em 1995/1996, durante um período de precipitação abaixo do normal, para 3.750 kg ha⁻¹ em 2002/2003 com uma precipitação considerada normal na região.

Segundo Pavinato et al. (2008) nos últimos anos têm aumentado significativamente o cultivo do milho sob irrigação, promovendo algumas alterações nas formas de manejo das lavouras, através do planejamento de uso intensivo das áreas para compensação do alto investimento, com maior número de cultivos e culturas envolvidas. Esta expansão das lavouras irrigadas tem exigido maior investimento em pesquisas, com intuito de suprir a demanda de conhecimento com relação ao manejo de irrigação e alcançar produtividades altas e conseqüentemente obter bom retorno econômico.

Embora a água seja um dos principais componentes de produção que afeta a produtividade das culturas, sua variabilidade dentro da área irrigada é, frequentemente, ignorada. Contudo, à aplicação espacialmente diferenciada de água ou irrigação de precisão permite maximizar a produtividade e à eficiência do uso da água em solos com variação espacial da disponibilidade hídrica (QUEIROZ, 2007).

De acordo com Bernardo et al. (2006), a quantidade de água ou lâmina de água aplicada são informações básicas e necessárias para um manejo adequado de

irrigação. Aplicações de água insuficientes repõem a água apenas nas camadas superficiais do solo, não umedecendo a região das raízes. Por outro lado, irrigações excessivas acarretam perda de água e nutrientes, pela percolação abaixo da zona das raízes, além de favorecer a proliferação de microorganismos patogênicos (COSTA, 2004).

Segundo Matzenauer et al. (2002) e Bergamaschi et al. (2004), o adequado suprimento hídrico, próximo ao pendoamento-espigamento do milho, é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados.

Bergonci et al. (2001), relataram aumento na eficiência de uso da água (redução de custos), se a irrigação for feita somente no período crítico, com doses de rega entre 60 e 80% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

Bergamaschi et al. (2006), obtiveram resultados onde o déficit hídrico tem maior impacto sobre o rendimento de grãos de milho quando ocorre no florescimento; a redução no rendimento de grãos de milho e o grau do déficit hídrico no florescimento apresentaram uma relação quadrática; e a adoção de uma dose de rega de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo permite aumentar a eficiência de uso da irrigação.

Em virtude da ocorrência de déficit hídrico natural nas regiões agrícolas do Brasil, os produtores vêm sendo motivados a investirem em sistemas de irrigação, visando garantir e aumentar a rentabilidade de suas propriedades. Porém, o produtor irrigante deve considerar que são altos os custos com a irrigação, devendo trabalhar com a máxima eficiência dos sistemas de forma a obter produtividades que tornem a cultura do milho economicamente viável (SOARES, 2012).

2.3- Efeitos do estresse hídrico nas culturas

Alguns fatores abióticos estressantes, como por exemplo o estresse hídrico, podem interferir na produtividade das culturas, desde o início do ciclo de desenvolvimento, reduzindo o acúmulo de fitomassa, velocidade de crescimento e conseqüentemente afetando a produtividade final (CASTRO; GARCIA, 1996; NI et al., 2000).

Para a grande maioria das culturas, os efeitos dos fatores abióticos é na fase reprodutiva, mais especificamente no florescimento, causando diminuição do potencial produtivo. As influências causadas pelos fatores abióticos são potencializadas quando há atuação de dois ou mais fatores simultaneamente, outros fatores abióticos que podemos citar são: temperatura, radiação solar, nutrientes e concentração de CO₂.

O déficit hídrico é um dos principais fatores responsáveis pelas grandes quedas nas produtividades das culturas (NOGUEIRA et al., 2001). Essa deficiência leva a alterações no comportamento vegetal, e a recuperação da planta após o deficit é relativa – depende do genótipo (CHAVES, 1991), da duração, severidade e estágio de desenvolvimento em que sofreu o estresse (KELLING, 1995).

De acordo com Taiz e Zeiger (1991), o déficit hídrico, na verdade, consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas.

O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR; SINCLAIR, 1996); assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 1991). A necessidade em se resolver este conflito leva a planta a desenvolver mecanismos morfofisiológicos, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores (McCREE; FERNÁNDEZ, 1989) levando assim as plantas a tentarem atingir a produção de sementes.

O estresse causado pelo déficit hídrico não pode ser assumido como problemas simples ou bem definido. Os trabalhos de melhoramento têm demonstrado que o problema é bastante amplo. Além disso, frequentemente é difícil distinguir entre os efeitos diretos do déficit hídrico e de outros fatores, como fungos de solo, baixa fertilidade do solo e altas temperaturas (SILVA et al., 2008).

O potencial hídrico foliar (Ψ) tem sido usado, principalmente, para o entendimento dos mecanismos envolvidos e os processos afetados no controle do déficit hídrico pela própria planta. Quando o conteúdo de água no solo decresce, o potencial da água no solo e na folha também decresce e, como consequência, o deficit hídrico se desenvolve nas

folhas e as células guardas perdem turgor, causando fechamento estomático (BIANCHI, 2004). Guimarães et al. (2006), relatam que, pequenas diferenças no potencial de água na folha podem ser verificadas quando as plantas já passaram por déficits hídricos e acionaram mecanismos de tolerância.

2.4- Estresse hídrico na cultura do milho

Embora seja fundamental avaliar os efeitos do fator água, durante todo o ciclo da cultura, vários trabalhos concentraram estudos no impacto do déficit hídrico no período crítico do milho, ou seja, da pré floração ao início de enchimento de grãos (MATZENAUER et al., 1995; BERGAMASCHI et al., 2004).

Os estudos de tolerância à seca envolvendo o milho podem trazer melhorias no crescimento e no rendimento da cultura em regiões com limitação hídrica (LI et al., 2009), já que o milho é conhecido pela sua alta sensibilidade a este estresse (WELCKER et al., 2007).

Considera-se que o milho é limitado pelas condições de estresses comuns em regiões tropicais, incluindo solos ácidos e secos, Maia et al. (2007), relataram que o cultivo na região semi-árida brasileira deve levar em consideração, entre outros fatores, a limitação da quantidade de água durante o ano. O que permite gerar estratégias para obter rendimentos economicamente viáveis e com maior eficiência no uso da água.

O veranico é a maior fonte de instabilidade do rendimento de grãos de milho, em áreas de cerrado. As estimativas de perdas na produção de milho, causadas pelo déficit hídrico, estão entre 14% e 28% do total produzido (SANTOS et al., 2003).

Considerando que o rendimento de grãos é o resultado da integração de vários processos, é necessário estabelecer de que maneira estes componentes são afetados pelo déficit hídrico. Assim, do ponto de vista das relações hídricas, o rendimento pode ser definido pela relação $\text{rendimento} = \text{água transpirada} \times \text{eficiência no uso da água} \times \text{índice de colheita}$ (PASSIOURA, 1994).

O déficit hídrico e o estresse ambiental são os que mais interferem no desenvolvimento das culturas agrícolas, sendo a disponibilidade de água as plantas o fator que mais influência no rendimento de grãos da cultura do milho, por ocasionar perturbações fisiológicas e morfológicas que prejudicam o desenvolvimento e o rendimento desta cultura (MARTINS et al., 2010).

O milho é relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porém demonstra extrema sensibilidade, com decréscimo no rendimento de grãos, se esse deficit ocorrer na fase reprodutiva (SANTOS; CARLESSO, 1998).

O estresse pela baixa disponibilidade hídrica é um dos principais problemas da agricultura e a habilidade das plantas para resistir a tal estresse é de suma importância para o desenvolvimento do agronegócio de qualquer país. Estudos de tolerância à seca envolvendo o milho podem trazer melhorias no crescimento e no rendimento da cultura em regiões com limitação hídrica, já que o milho é conhecido pela sua alta sensibilidade a este estresse (SHAO et al., 2008).

Medeiros et al. (1991) e Matzenauer et al. (1995) elaboraram modelos que permitem estimar o rendimento final do milho, com antecedência ao momento da colheita, apenas utilizando o déficit hídrico ou variáveis derivadas do balance hídrico, durante o período crítico da cultura. Segundo Medeiros et al. (1991), esta estimativa pode ser realizada considerando-se a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima, no período de dez dias antes do pendoamento a dez dias depois do espigamento.

Matzenauer et al. (1995) obtiveram resultados semelhantes para diversos locais do Estado do Rio Grande do Sul, mas consideraram o período do pendoamento até trinta dias depois, como adequado para estimar o rendimento final da cultura. Portanto, os períodos considerados nesses dois trabalhos não se restringiram aos principais eventos reprodutivos do milho.

As oscilações nas safras de milho, das principais regiões produtoras do Brasil, estão associadas à disponibilidade de água, sobretudo no período crítico da cultura, que vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos (MATZENAUER, 1994; BERGONCI et al., 2001; BERGAMASCHI et al., 2004).

Durante o período vegetativo, o deficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa. Porém, nesse período não estão sendo formados os componentes do rendimento. Assim, os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis, o que poderá garantir níveis satisfatórios de rendimento de grãos. Por outro lado, se o deficit hídrico ocorrer período crítico, ou seja, da pré-floração ao início do enchimento de grãos (MORIZET; TOGOLA, 1984), a recuperação da capacidade produtiva da cultura não poderá ocorrer de forma satisfatória, uma vez que os eventos reprodutivos são muito mais rápidos do que os verificados durante o crescimento vegetativo. Nessa etapa fenológica, o milho é extremamente sensível ao deficit hídrico, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (SHUSSLER; WESTGATE, 1991; ZINSELMEIER et al., 1995), além da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar e da elevada carga energética proveniente da radiação solar. E como medida de redução de riscos consiste a utilização da irrigação, principalmente no período crítico da cultura.

A deficiência hídrica afeta o desenvolvimento das plantas, com decréscimo da área foliar, reduzindo a fotossíntese da planta. Entretanto, a mudança mais visível no dossel vegetativo da cultura de milho sob deficit hídrico é o enrolamento das folhas, cuja intensidade está relacionada com o potencial da água nas folhas (MOULIA, 2000). De acordo com Earl e Davis (2003), o deficit hídrico reduz a produção de grãos do milho, pela redução da absorção de RFA devido à menor área foliar, decorrente da murcha ou enrolamento foliar em períodos de estresse severo ou pela senescência precoce das folhas.

O rendimento das culturas pode ser afetado mesmo em anos climaticamente favoráveis, se o deficit hídrico ocorrer no período crítico de desenvolvimento da cultura. Durante o período vegetativo o deficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar, e da biomassa (BERGAMASCHI et al., 2007). Porém, nesse período não estão sendo formados os componentes do rendimento, assim os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados, posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis (KRON et al., 2009) poderá garantir níveis satisfatórios de produção grãos.

2.5- Alterações metabólicas em plantas submetidas a estresse hídrico

Um dos grandes responsáveis pelas alterações nos processos metabólicos das plantas é o fator água, o déficit hídrico é um fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultivadas, e apresenta-se como fator limitante para a boa produtividade das culturas. O estresse, resultante do déficit hídrico, que ocorre durante o ciclo de uma cultura, dependendo da sua intensidade, promove maiores ou menores alterações no seu desenvolvimento. Este fato pode levar a planta a desenvolver mecanismos de adaptação à seca, que poderão ser de natureza morfológica, fisiológica e anatômica (LARCHER, 2004).

De modo geral, plantas submetidas a situações de estresse sofrem alterações morfológicas e bioquímicas, como a explosão oxidativa com a formação de espécies reativas de oxigênio. Em condições de estresse hídrico, principalmente, ocorre o acúmulo de enzimas na parte aérea das plantas, como um mecanismo regulador de mudanças fisiológicas na planta, levando, conseqüentemente, ao desenvolvimento de processos oxidativos. Desta forma, as plantas desenvolveram sistemas de defesa antioxidantes, que incluem compostos não enzimáticos e enzimáticos. Considera-se muito importante o balanço entre as atividades das enzimas reativas de oxigênio (ERO's) nas células para a determinação do nível dos radicais superóxidos e peróxido de hidrogênio (MITTLER, 2002).

O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (CHAVES *et al.*, 2002). Assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 2009). A necessidade de resolver este conflito faz com que a planta desenvolva mecanismos morfofisiológicos, que a conduz a economizar água para o uso em períodos posteriores (SAHA *et al.*, 2008) como, atingir a produção de sementes.

O déficit hídrico provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (MEDICI *et al.*, 2007). No entendimento das respostas das plantas ao déficit hídrico é importante quantificar a capacidade de armazenamento de água no solo e analisar a influência dos mecanismos de adaptação das plantas à redução da disponibilidade de

água no solo. Pois, a quantidade de água armazenada no solo disponível às plantas varia com a textura e as características físicas do solo, levando a planta a apresentar diferentes respostas em seus mecanismos de resistência morfofisiológicos.

A condição hídrica da planta num dado momento pode estar caracterizando um estado de estresse, cujo fator estressante é o déficit hídrico o qual, segundo Taiz e Zeiger (2009) pode ser definido como, todo o conteúdo de água no tecido ou célula vegetal abaixo do conteúdo de máxima hidratação. Essa definição sugere que o deficit hídrico é uma medida de planta que pode ser obtida diretamente pelo conteúdo de água ou indiretamente pelo estado energético da água nos diferentes órgãos da planta (LARCHER, 2000).

O movimento da água ocorre em função da diferenças de seu potencial total, movendo-se do ponto de maior para os de menor potencial. Portanto, o potencial da água no solo deve ser maior que o da planta, e este maior que o da atmosfera para que o fluxo de água seja mantido neste sistema. Quando a transpiração foliar excede a absorção de água pelas raízes a planta demonstra um balanço hídrico negativo. Esta situação ocorre diariamente, sendo caracterizada como deficit hídrico de curto prazo (SOUZA; CARDOSO, 2003; PIMENTEL; PEREZ, 2000). O mesmo pode ser revertido via controle da abertura estomática (diminuição da transpiração) e manutenção da absorção de água pelas raízes ao longo de um período noturno (BIANCHI, 2004). Entretanto, o deficit hídrico de longo prazo ocorre quando o conteúdo de água na planta não é recuperado após um período noturno de baixa transpiração. Isso ocorre devido à escassez de água no solo, ocasionada pela falta de chuva ou irrigação, aliada à elevada demanda evaporativa ao longo de vários dias, o que aumenta a resistência na interface solo-raiz (LARCHER, 2000).

A diminuição do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são relativamente insensíveis. Para Chaves et al. (2002) a extensão dos efeitos do deficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade e duração, e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. As respostas mais proeminentes das plantas ao deficit hídrico, segundo Taiz e Zeiger (2009), consistem no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Quando as plantas são

expostas a situações de deficit hídrico exibem, freqüentemente, respostas fisiológicas que resultam de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos futuros (KRON et al., 2009).

A limitação do crescimento das plantas impostas por um deficit hídrico é principalmente devido a reduções do equilíbrio de carbono na planta, que depende da interação entre fotossíntese e respiração (FLEXAS et al., 2006). A redução da difusão de CO₂ da atmosfera para o local de carboxilação é a principal causa para a redução da fotossíntese em condições de maior deficit hídrico (FLEXAS et al., 2004). Essa reduzida capacidade difusiva da folha é devido, principalmente, ao fechamento estomático (WARREN et al., 2004). Uma das causas do fechamento estomático é a redução da turgescência das células, sendo importante a manutenção do turgor celular, para permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese (OTIENO et al., 2006). Durante períodos de deficiência hídrica, a manutenção do crescimento da planta depende de sua capacidade de conservar a turgescência das células, através do fenômeno conhecido como ajustamento osmótico (NIU et al., 2003).

O ajustamento osmótico é considerado um dos mecanismos mais eficazes para manutenção da turgescência celular, permitindo principalmente a manutenção da abertura estomática e fotossíntese sob condições de baixo potencial hídrico no solo (FUNKHOUSER et al., 1994).

Segundo Bergamaschi et al. (2006), o deficit hídrico afeta quase todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas: reduz a área foliar (por diminuir o crescimento ou pela senescência das folhas); redução na fotossíntese (devido à diminuição da área foliar, murchamento e enrolamento de folhas e fechamento dos estômatos) e afeta vários outros processos, tais como: brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos.

Alguns autores têm estudado a cultura do milho em condições de deficit hídrico, como Wu et al. (2011) que estudaram o crescimento e a transpiração do milho em casa de vegetação sob deficiência hídrica, observando redução na formação de fitomassa e na transpiração, quando a umidade nos vasos foram inferiores a 90%, interferindo nos fotoassimilados para o enchimento dos grãos.

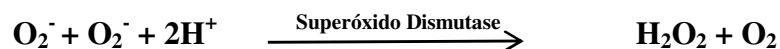
Gong et al. (2005), observando a atividade das enzimas antioxidativas em plantas de trigo submetidas a condição de estresse hídrico, observaram que a presença do Si pode aumentar as habilidades de defesa antioxidante das plantas, contribuindo para aliviar os danos oxidativos causados pela condição ambiental adversa.

Shen et al. (2010), observaram aumento na atividade das enzimas SOD (superóxido dismutase) e CAT (catalase) em função da condição de estresse a que plantas de sorgo foram submetidas, e também a amenização dos danos causados às plantas por conta da presença do elemento Si. Resultados semelhantes foram observados em plantas submetidas a condições de estresse salino, onde plantas de cevada mostraram um aumento na atividade de SOD na presença do Si (GOGORCENA et al., 1995). Sob condições de estresse salino, em plantas de pepino, Zhu et al. (2004), observaram aumento nas atividades de SOD e APX (Ascorbato peroxidases), com exceção da CAT, a qual não foi influenciada pela presença do Si.

2.6- Enzimas oxidativas (SOD, POD e CAT)

As enzimas oxidativas são uma forma de indicador de estresse hídrico pela planta.

De acordo com SCANDALIOS (2005), a enzima (SOD), ou seja, a superóxido dismutase, age na defesa contra as espécies reativas de oxigênio, ou seja, os EROs, dismutando o superóxido (O_2^-), para peróxido de hidrogênio (H_2O_2), conforme mostrada na equação abaixo.

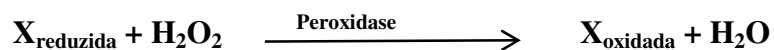


Trata-se de uma importante defesa antioxidante na maioria das células expostas ao oxigênio. A enzima SOD encontra-se em três classes diferenciadas, de acordo com o metal presente em seu sítio ativo:

- associada a Cu(II) mais Zn(II), as Cu/ZnSOD, encontradas no citosol e no cloroplastos
- associada a Fe(III), as FeSOD, encontrada nos cloroplastos
- associada a Mn(III), as MnSOD, e encontradas na matriz celular.

Os níveis intracelulares do H_2O_2 são regulados por uma gama de enzimas, sendo as peroxidases e as catalases mais importante para esse mecanismo, essas enzimas estão localizadas em quase todas as partes das plantas (BLOKHINA *et al.*, 2003).

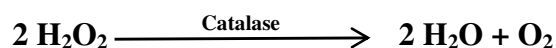
As peroxidases (POD), são responsáveis pela eliminação do H_2O_2 , conforme mostrado na equação abaixo.



Onde X = molécula que sofre peroxidação (substrato).

Além disso, também podem catalisar a formação de O_2^- e H_2O_2 através de uma reação complexa. Primeiramente o NADH é oxidado usando traços de H_2O_2 , produzido primeiramente pela partição não enzimática da NADH. Posterior a isso, o radical NAD formado reduz O_2 a O_2° , alguns dos quais catalisam em H_2O_2 e O_2 . As peroxidases têm um papel importante na biossíntese da parede celular, podendo ajudar na defesa ao ataque de patógenos aumentando as barreiras mecânicas, tornando a penetração do patógeno mais lento, mas também estão envolvidas nas respostas ao estresse. São encontradas em diversas isoformas, que usam diferentes redutores e estão localizadas em diversos compartimentos celulares. As peroxidases podem também ser divididas quanto à presença de um grupo heme, ou seja, podem ser classificadas como hemicas ou não-hemicas. Onde as peroxidases hemicas catalisam a peroxidação de substratos usando o íon de ferro presente no grupo heme, e as peroxidases não-hemicas, também conhecidas como peroxirredoxinas, usam cisteínas com actividade redox no seu centro activo (BLOKHINA *et al.*, 2003).

A catalase (CAT) é uma enzima que pode ser encontrada nos peroxissomos e glioxissomas, possui uma capacidade de degradar rapidamente o peróxido de hidrogênio em H_2O e O_2 , portanto muito importante no sistema antioxidativo, pode-se observar na equação abaixo a enzima catalase “quebrando” a molécula H_2O_2 .



A catalase pode ser separadas em três classes, assim como a POD, as classes da catalase podem ser:

- catalase da classe I são responsáveis por remover o H_2O_2 produzido durante a fotorrespiração
- catalase da classe II participam do processo de lignificação e estão localizadas nos tecidos vasculares

- catalase da classe III estão presentes nas sementes e plantas jovens e também participam da degradação do H_2O_2 , mas aquele produzido durante a degradação dos ácidos no glioxissoma (RESENDE et al., 2003).

As enzimas catalase são formadas por um grupo heme, semelhante ao que existe na hemoglobina, possuindo então cada heme um íon de ferro, sendo o centro metálico que reage com o peróxido de hidrogênio, no entanto, algumas catalases são não-hêmicas, possuindo em vez do grupo heme um centro binuclear de manganês.

2.7- Biotecnologia ou transgênicos

As sementes transgênicas, que chegaram ao Brasil ilegalmente em 1997 e enfrentaram grande resistência, ocupam atualmente a maior parte das lavouras cultivadas do país, sendo em sua maioria com a cultura de soja, seguida pelo milho. E quanto ao futuro dos transgênicos ou biotecnologia, os especialistas apontam um mercado promissor e em constante crescimento, visto o crescimento nos números de eventos nesta área, além do que, no futuro trarão assuntos como a tolerância à seca, o ômega três, novas tecnologias para combate a pragas, maior eficiência de absorção de nitrogênio e o maior nível de proteína nos grãos (PIONEER, 2013).

No ano de 2013, pela primeira vez desde que a técnica de cultivo com sementes transgênicas foi oficializada no país, a área plantada com esse tipo de produto supera em hectares a área ocupada por sementes orgânicas ou convencionais. De acordo com informações divulgadas pela consultoria Céleres, especializada em agronegócio, mais de 37 milhões de hectares estão semeados com produtos transgênicos no país em 2013, 14% a mais do que no ano passado. O sucesso das sementes transgênicas nas lavouras brasileiras é sinal de aprovação do produtor e reflexo da boa qualidade dos produtos, além da vantagem econômica e do conforto disponibilizado ao agricultor, à utilização de sementes geneticamente modificadas também possibilita um maior e melhor planejamento na lavoura (PIONEER, 2013).

Diante das previsões de crescimento populacional mundial, atingindo nove bilhões de habitantes em 2050 (ASH et al., 2010), existe o desafio de criar métodos

avançados e eficientes para aumentar a produção de alimentos e energia renovável sem, contudo, esgotar os recursos naturais. Nesse cenário, a biotecnologia de plantas ocupa papel central na busca de soluções para atenuar os problemas, atuais e futuros, causados pelo estilo de vida adotado pelo homem.

Conforme Castro et al. (2006), o principal foco da biotecnologia comercial está na transferência de genes para resistência a herbicidas e proteção de plantas contra alguns tipos de insetos. Os autores consideram que o desafio real da biotecnologia nos países em desenvolvimento está em melhoria do rendimento e adaptação das culturas às condições ambientais limitantes (pragas, doenças, estresses abióticos etc.), o que possibilitaria a ampliação da produção de alimentos nas áreas já em uso e um menor impacto ambiental devido à redução no uso de insumos como fertilizantes e defensivos.

Além disso, Castro et al. (2006), dizem ser necessário o desenvolvimento de pesquisas aderentes às especificidades dos países em desenvolvimento. Como por exemplo a resistência/tolerância a estresses bióticos/abióticos são determinadas por muitos agentes e por interações complexas genótipo-ambiente, cuja compreensão ainda é bastante insuficiente. Diante disso, os autores consideram que o Brasil deve “fortalecer programas voltados para conhecimentos de genomas e prospecção de genes, uma vez que o entendimento de mecanismos biológicos complexos abrirá, em médio prazo, perspectivas de superação de grande parte dos problemas mais sérios da agricultura tropical”.

A biotecnologia pode fornecer meios para o aumento da produção agrícola pela aplicação do conhecimento molecular da função dos genes e das redes regulatórias envolvidas na tolerância a estresse, desenvolvimento e crescimento de novas plantas (TAKEDA; MATSUOKA, 2008). A transformação genética de plantas cultivadas possibilita a validação funcional de genes individuais selecionados, além da exploração direta dos transgênicos no melhoramento genético, visando à inserção de características agronômicas desejáveis.

Atualmente, a produção de transgênicos está difundida em praticamente todas as regiões agrícolas do planeta, e a adoção da biotecnologia pelos produtores atingiram níveis nunca alcançados por outras tecnologias avançada, em toda história da agricultura. O Brasil ocupa o segundo lugar entre os países com maior área

cultivada com transgênicos no mundo, cerca de 25,4 milhões de hectares, atrás apenas dos Estados Unidos com 66,8 milhões de hectares (ISAAA, 2011). A razão deste indiscutível sucesso são os benefícios obtidos com a produção de plantas transgênicas resistentes a doenças, tolerância a plantas daninhas e insetos, a redução no uso de defensivos e o aumento da produção.

2.8- Transgênicos resistentes as principais pragas na cultura do milho

Com o advento da biotecnologia foi desenvolvida uma nova tática de controle de pragas, que consiste nas plantas geneticamente modificadas resistentes a insetos. Através de apuradas técnicas de laboratório, um gene de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) foi introduzido em plantas de milho, dando origem ao milho geneticamente modificado, conferindo alto padrão de resistência da planta a algumas espécies de lepidópteros-pragas (ARMSTRONG et al., 1995).

O domínio na produção de transgênicos no Brasil é da soja, mas o crescimento de lavouras geneticamente modificadas a partir de 2009 cresceu ainda mais por causa da liberação do milho transgênico. A produção do milho transgênico foi aprovada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e, a partir de então, o plantio vem crescendo vertiginosamente. O aumento na produção de milho transgênico na safra de 2010 foi de 19%, em comparação ao ano de 2009 (ISAAA, 2011).

Na safra de 2011/2012, não se verificaram novos eventos de biotecnologia, mas houve uma mudança no perfil dos materiais disponibilizados. Nesta safra 20 cultivares de milho transgênico deixaram de ser comercializadas (16 híbridos simples, 1 híbrido simples modificado e 3 híbridos triplos) e 57 novas versões transgênicas foram acrescentadas ao mercado (44 híbridos simples, 2 híbridos simples modificados e 11 híbridos triplos), mostrando a grande dinâmica na substituição de cultivares de milho no mercado. Atualmente, dentre as cultivares transgênicas, cerca de 74% são híbridos simples; 7% são híbridos simples modificados e cerca de 19% são híbridos triplos. (CRUZ et al., 2011).

Segundo James (2003), experimentos em campos realizados no Brasil surgiram com um incremento médio em produtividade para o milho *Bt* em torno de 24%

quando comparado ao milho convencional. Na Argentina, James (2003) verificou que a produtividade de plantas de milho *Bt* foi em média de 10% superior que as plantas do milho convencional.

Para Trigo e Cap (2003), o benefício do plantio do milho *Bt* na Argentina deriva do aumento de 5% de produtividade, porém nos Estados Unidos, um dos impactos mais significativos da utilização de milho *Bt* foi na ordem de 332.1 kg ha⁻¹ a 935.3 kg ha⁻¹.

Para o Brasil, Pereira et al. (2007), estimaram que se as lavouras brasileiras de milho tivessem adotado 50% de milho *Bt* em 2005, os produtores teriam ganhado U\$ 161 milhões com o aumento da produtividade e U\$ 31 milhões com a redução de inseticidas para controlar a lagarta do cartucho, considerando um aumento de 10% de produtividade e um preço mínimo por tonelada de U\$ 91,62. Os resultados demonstram que adoção do milho *Bt* contendo a proteína *Cry IAb* melhora o acesso dos produtores a tecnologia para controle das principais pragas do milho; a eliminação das pragas melhora a produtividade do milho; a eliminação da necessidade de uso de pesticidas para controlar as principais pragas que afetam a cultura, minimizando os impactos ambientais, além dos promissores resultados com o lançamento de híbridos e tecnologias mais eficientes em alguns anos.

Nas lavouras de milho, as perdas causadas por pragas constituem fator limitante para se obter altas produtividades. A lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) é uma das principais pragas da cultura do milho no Brasil, causando severos prejuízos. O ataque na planta ocorre desde a sua emergência até o pendoamento e o espigamento; porém, o período crítico é o florescimento, as perdas devido ao ataque dessa lagarta pode reduzir a produção em até 34%. Levantamentos realizados em cerca de 1.100 agricultores que produzem mais de 8.000 kg ha⁻¹ mostrou que, dentre as lavouras amostradas, 15% receberam de 4 a 5 aplicações de inseticidas e 6% receberam de 6 a 8 aplicações para o controle de pragas. Outros levantamentos realizados pela Embrapa Milho e Sorgo, mostraram que em algumas regiões o número de aplicações de inseticidas para o controle da lagarta-do-cartucho pode chegar até 10. Além disso, não existe método eficiente de controle químico para pelo menos duas outras importantes espécies: a lagarta-da-espiga e a broca-do-colmo (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2013).

Com o uso de híbridos transgênicos com a tecnologia *Bt* podemos reduzir, significativamente, os prejuízos causados por essas espécies, conforme foi observado nos anos anteriores, com um aumento de 15 a 20% na produtividade. Além da redução das perdas diretas causadas pelos danos das lagartas na espiga, que podem atingir até 30%, outras vantagens do uso do milho *Bt* incluem a redução da aplicação de agrotóxicos, a comodidade para o produtor, a diminuição da incidência de micotoxinas e, conseqüentemente, a oferta de alimentos mais saudáveis para humanos e criações (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2013).

As cultivares transgênicas atualmente no mercado são: marca Herculex; YieldGard; VTPRO; VTPRO2; VTPRO3 RIB; VTPROMAX RIB; Agrisure TL; Agrisure VIP; Agrisure VIP 3; Optimum Intrasect e PowerCore.

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Localização da área experimental

O experimento foi conduzido em ambiente protegido do Departamento de Solos e Recursos Ambientais - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, campus de Botucatu, SP. Localizado entre os paralelos 22°30' a 23°05' de latitude sul e os meridianos 48°15' a 48°52' de longitude Oeste de Greenwich, e altitude média de 830m (MOTA, 2007).

De acordo com a classificação de Köeppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, sendo caracterizado como clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994).

3.2- Caracterização do solo

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de 40 litros, os quais foram preenchidos com solo proveniente da camada superficial de 0 - 20 cm, coletado da área “Patrulha”.

A caracterização do mesmo foi realizada mediante a coleta de amostras compostas, e a classificação baseada na metodologia da Embrapa (EMBRAPA, 1999), sendo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro álico, textura média.

Tabela 1- Atributos físico do solo.

Areia Grossa	Areia Fina	Total (g.dm ⁻³)	Argila	Silte	Textura do Solo
-----	-----		-----	-----	
292	356	648	307	45	Média

3.3- Características químicas do Solo

Anteriormente à instalação do experimento, foi realizada a coleta de amostra de solo para análise química conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001).

O solo amostrado para caracterização química foi coletado da camada 0 - 20 cm. As amostras foram secas ao ar, seguindo-se do peneiramento das mesmas em malha de 2 mm, em seguida acondicionadas para análise no Laboratório de Fertilidade do Solo, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP / Campus de Botucatu, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001). Foi determinado o pH em CaCl₂, M.O, P (resina), K, Ca, Mg e S trocáveis e, calculada a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%), além de B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Tabela 2- Análise do solo antes da calagem

pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H ⁺ Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³			-----mmol _c /dm ³ -----						mg.dm ⁻³
4,1	15	5	10	64	0,2	2	1	3	67	5	12
BORO		COBRE		FERRO		MANGANÊS			ZINCO		
				mg.dm ⁻³							
0,33		0,6		32		0,4			0,1		

3.4- Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 5 repetições, em esquema fatorial 2 X 4, sendo o primeiro fator o híbrido de milho convencional e o híbrido de milho transgênico (Hx), e o segundo fator representa os quatro diferentes estresse hídrico, correspondentes a irrigar quando a tensão de água no solo atingir 16.6, 22.4, 31.1, 45.2 Kpa.

Os tratamentos foram descritos durante a dissertação da seguinte forma: o híbrido com biotecnologia ou transgêncio – Hx – (T1) e o híbrido de milho convencional – Conv – (T2), no caso a tecnologia usada foi a Herculex; e as quatro condições de estresse hídrico, foram descritas como: plantas com 20% de depleção (T₁), plantas com 30% de depleção (T₂), plantas com 40% de depleção (T₃), e plantas com 50% de depleção (T₄).

Vale ressaltar que durante as estatísticas não foram observados interações entre o fator milho e o fator água, portanto, os tratamentos e as Tabelas foram dispostas da seguinte maneira.

Os tratamentos foram distribuídos da seguinte forma para o fator milho:

T1 - Tratamento utilizando o milho transgênico

T2 - Tratamento utilizando o milho convencional

E os tratamentos para o fator água foram distribuídos da seguinte forma:

T1 - Tratamento irrigado quando atingia 20% de depleção

T2 - Tratamento irrigado quando atingia 30% de depleção

T3 - Tratamento irrigado quando atingia 40% de depleção

T4 - Tratamento irrigado quando atingia 50% de depleção

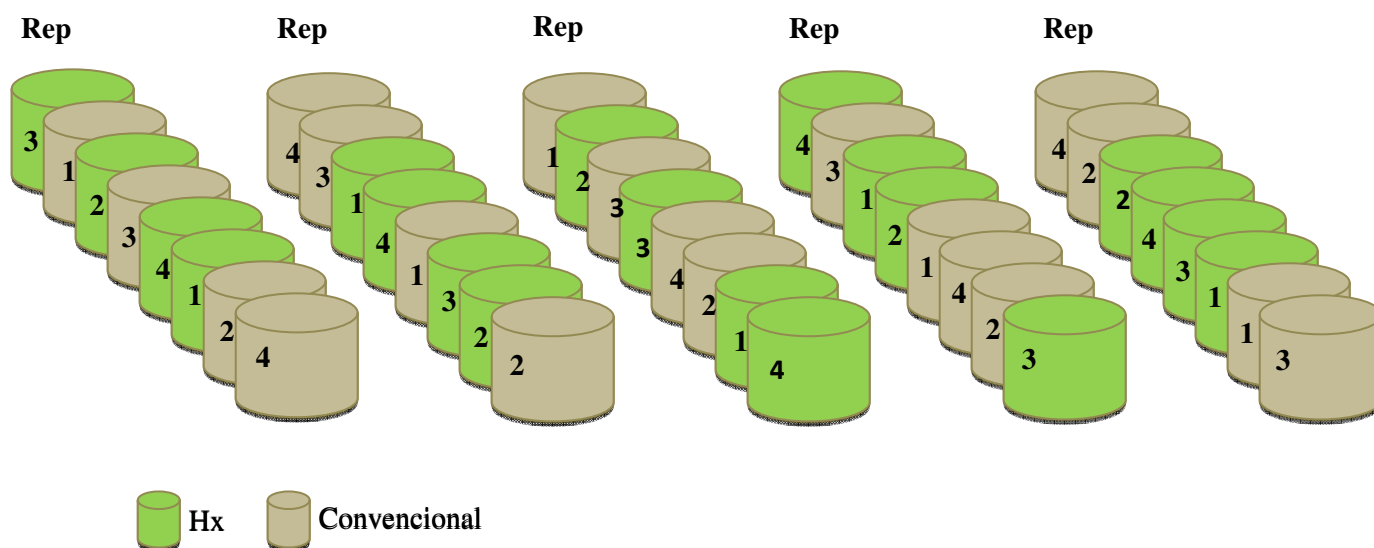


Figura 1: Croqui da área experimental.

A determinação das tensões de água utilizadas no experimento foi obtido previamente da curva característica da umidade do solo, conhecida como Curva de Retenção de Água no Solo, sendo realizada pelo Laboratório de Relação Solo-Água-Planta, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp – Botucatu / SP. Essa avaliação é uma relação entre a quantidade de água, em base de massa ou volume, e o potencial matricial da água no solo, portanto, uma força de ligação entre as moléculas de água e as partículas de solo.

O primeiro passo foi coletar amostras indeformadas de solo, em anéis cilíndricos em três camadas, sendo essas camadas de 0-20cm, 20-40cm e 40-60cm de profundidade e suas características determinadas conforme o método descrito por Camargo et al. (1986) e ajustadas pelo modelo proposto por Van Guenuchten (1980). O segundo passo foi utilizar a Câmara de Pressão de Richards, onde simulou-se uma tensão determinada na amostra de solo e, por diferença de peso (solo úmido após ser submetido à pressão - solo seco) em uma estufa a 105 °C por um período de 48 horas, chegou ao conteúdo de água relacionado à tensão aplicada. E finalmente, os resultados obtidos a partir da referida análise é mostrada abaixo na Tabela 3.

Tabela 3- Tensões relativas ao longo do perfil do solo.

Camada (cm)	Água Retida ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$)					
	Saturado	0,003	0,06	0,01	0,5	1,5
	Tensão (Mpa)					
0-20	0,48	0,34	0,32	0,23	0,19	0,14
20-40	0,52	0,36	0,35	0,25	0,21	0,16
40-60	0,47	0,36	0,34	0,24	0,18	0,16

O manejo de irrigação foi realizado com o auxílio de tensiômetros de punção de leitura direta instalados na região central dos recipientes, na profundidade efetiva de 20 cm. Os tensiômetros foram instalados com o auxílio de trado de roscas, com diâmetro levemente inferior dos tensiômetros para que permitissem uma boa fixação dos mesmos ao solo.

Até o pré-florescimento todos os vasos foram irrigados igualmente, com o auxílio de uma proveta, mas logo após o florescimento do milho, onde mais de 50% das plantas estavam florescidas, começou com os diferentes níveis de estresse hídrico, também sendo irrigado com o auxílio de uma proveta. Onde foram conduzidos os quatro níveis de estresse hídrico na cultura do milho, e estes estresses foram mantidos durante 48 dias, após o estresse a cultura ficou no campo por mais 15 dias até chegar o momento exato da colheita. Os tratamentos com o estresse T_1 foram conduzidos dentro da faixa de umidade ótima para a cultura do milho até o final do ensaio, esse valor era de 20% de depleção; já os tratamentos T_2 , T_3 e T_4 , foram irrigados quando a água no solo indicavam os valores em Kpa que equivalia aos valores de 30% , 40% e 50% de depleção, respectivamente. Esses valores de 20%, 30%, 40% e 50% transformados em Kpa eram iguais a 16.6, 22.4, 31.1, 45.2 Kpa.

3.5- Descrição do híbrido de milho

O material utilizado foi o híbrido simples de milho da empresa Dow AgroSciences, denominado 2B587, cujas características são ciclo precoce, porte baixo,

arquitetura de folhas normal e grãos de coloração amarelo alaranjada com textura semi-dentada e alto potencial produtivo.

3.6- Condução do experimento

3.6.1- Época anterior à sementeira:

Antes da sementeira realizou-se a coleta do solo na “Patrulha”, após a coleta do solo, seguiu-se a amostragem do solo que foi utilizado na área.

Posterior a isso, realizou-se análise dos resultados, sendo necessária a prática da calagem para elevar a saturação de base do solo a 70%, logo após isso, manteve-se o solo incubado até o momento da sementeira.

3.6.2 Instalação dos tensiômetros

Um dia antes da sementeira do milho foram feitas as instalações dos tensiômetros no vaso para futuramente fazer as leituras de tensão dos tratamentos.

Vale salientar que os tensiômetros são equipamentos que medem a tensão ("força") com que a água é retida pelo solo, a qual afeta diretamente a absorção de água pelas plantas, onde as unidades de medida podem ser em kPa, cbar, mmHg e cmH₂O (1 kPa = 1 cbar = 7,5 mmHg = 10 cmH₂O).

Os tensiômetros têm capacidade para leitura de tensão entre 0 - 75 kPa, sendo recomendados para o manejo da irrigação, cultivadas em campo ou sob cultivo protegido. Para que apresentem desempenho satisfatório é indispensável uma série de cuidados e procedimentos simples no preparo, instalação, operação e manutenção. Esses cuidados foram realizados.

Primeiramente, antes de serem levados a campo, os tensiômetros foram preparados, como descrito abaixo:

- a) Removida a tampa e enchida com água destilada, fervida e fria;

b) Foi colocado o tensiômetro em um balde com água durante aproximadamente 5 dias, de modo que a cápsula ficasse submersa para manter o nível da água dentro do tensiômetro acima do nível da água no balde;

c) Com auxílio de uma bomba de vácuo acoplada ao tensiômetro, succionou a água através da cápsula até cessar a subida de bolhas de ar.

d) Completou-se o tubo com água e fechou a tampa;

e) Retirou o tensiômetro do balde e foi perdurado ao ar livre para que a água evaporasse através da cápsula.

f) Quando o manômetro indicou 50 kPa, submergiu a cápsula na água.

A segunda etapa foi a instalação dos tensiômetros de punção a uma profundidade de 20 cm na parte central do vaso, sendo um tensiômetro para cada vaso, totalizando 40 tensiômetros. Foram instalados também tensiômetros de mercúrio e tensiômetros com manômetro, isso tudo para ter o mais fidedigno dos resultados, mas a cultura era sempre irrigada de acordo com o tensiômetro de punção.

a) No momento da instalação foi feito uma abertura nos solo úmido, até a profundidade desejada, com um trado com diâmetro ligeiramente inferior ao da cápsula na parte central do vaso.

b) Introduzido o tensiômetro no buraco, de forma que houvesse um perfeito contato da cápsula com o solo;

c) Comprimiu-se levemente a superfície do solo ao redor do tensiômetro e elevou o solo em volta do tensiômetro para evitar infiltração de água junto ao tubo;

A terceira etapa foram as operações das leituras dos tensiômetros, as leituras foram feitas diariamente, sempre no mesmo horário, além disso foram anotados os dados numa Tabela ou gráfico para facilitar o planejamento das irrigações. As irrigações foram realizadas sempre que necessário. Foram feitas algumas manutenções de tensiômetros no campo quando verificaram-se problemas de mal funcionamento. O procedimento adotado é mostrado a seguir:

a) Retirou a tampa e completou com água (destilada e fervida);

b) Retirou o ar do tensiômetro, completou a água e fechou a tampa;

c) Quando o tensiômetro continuou sem funcionar corretamente, os tensiômetros foram substituídos. Lembrando que no momento da retirada do tensiômetro é bom que o solo esteja úmido, pois caso contrário pode quebrar a cápsula porosa.

3.6.3- Época de semeadura até colheita

A semeadura foi realizada em casa de vegetação, em vasos com capacidade para 40L, no dia 29 de fevereiro de 2012, através da abertura de covas, utilizando-se cinco sementes em cada vaso. A emergência da cultura ocorreu no dia 4/3/12, e quando as plantas de milho estavam com duas a quatro folhas expandidas, isso no dia 12/3/12, foi feito o desbaste, deixando apenas duas plantas por vaso.

Como já citado, o híbrido utilizado no experimento foi o 2B587 e o 2B587 Hx, ciclo precoce e posicionado para a safrinha na região com uma população final de 55.000 plantas ha⁻¹.

No mesmo dia da semeadura realizou-se a adubação de plantio com 10 mg dm⁻³ de N (sulfato de amônio); 150 mg dm⁻³ de P₂O (super fosfato triplo); 80 mg dm⁻³ de K₂O (cloreto de potássio).

Além disso, foram feitas 4 adubações de cobertura, sendo adubados com 20 mg dm⁻³ (úrea) e 20 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio) em cada aplicação. Essas aplicações foram feitas de 21 em 21 dias, onde a primeira aplicação foi feita 21 dias após a germinação do milho.

No dia 28/3/12 foi feita uma aplicação de adubação foliar na cultura do milho, pois apresentavam sintomas visíveis de deficiência de Zinco com o encurtamento do internódios, além de apresentarem clorose internerval e folhas com coloração esbranquiçada próxima à região do “cartucho”. Outra aplicação de adubação foliar foi realizada 14 dias depois para uma total recuperação da cultura do milho. O preparo da calda para pulverização foi realizada com um pulverizador costal de 20 L, com a utilização de 40 gramas de sulfato de zinco, 40 gramas de sulfato ferroso, 8 gramas de molibdato de amônia, 120 gramas de úrea e com a adição de 50 ml de óleo mineral para uma melhorar fixação na aplicação.

No dia 20/4/12 houve a necessidade de uma aplicação de inseticida e fungida, pois o milho apresentava alto índice de pulgão e também sintomas de ferrugem, provavelmente isso aconteceu pois havia uma cultura de soja no lado da cultura do milho. A aplicação de inseticida foi feita com a utilização de (Keshet 0,2 L ha⁻¹ – Deltametrina) e fungicida (Opera 0,6 L ha⁻¹ – Estrobirulina e Triazol; Score 0,250 L ha⁻¹ – Triazol), transformando esses dados, foi aplicado 10 ml de Deltametrina, 30 ml de Estrobilurina e Triazol, mais 13 ml apenas de Triazol com o uso de outro produto, tudo aplicado separadamente em um pulverizador costal de 20 L.

No dia 10/05/12 verificou-se que 50% das plantas estavam em pleno florescimento, portanto, no outro dia, iniciou o estresse hídrico na cultura, pois havia sido estabelecido que o momento inicial do estresse seria a partir do florescimento e com uma duração de 48 dias.

No dia 12/05/12 realizou-se a primeira retirada de folhas para as análises de enzimas catalase (CAT), peroxidase (POD) e superóxido desmutase (SOD), a retirada da folha foi no terço médio da planta com uso de um canivete, sendo que as folhas são acondicionadas em um envelope de papel alumínio (devidamente identificados), o material coletado foi congelado imediatamente em nitrogênio líquido (-196°C). Esse mesmo procedimento repetiu-se no dia 25/05/12 e no dia 20/06/12, portanto no experimento foram realizados 3 análises de enzimas em épocas diferentes.

3.7- Características avaliadas:

Foram avaliadas algumas características, como: características biométricas (altura das plantas, diâmetro do colmo, altura de inserção de espiga), características produtivas (diâmetro de espigas, comprimento de espigas, comprimento preenchido com grãos, números de fileiras de grãos por espiga, números de grãos por fileira, grãos por espiga, massa de mil grãos e produtividade), índice de colheita, massa de matéria seca (caule, folha e raiz), avaliação foliar, enzimas oxidativas (SOD, POD e CAT), alterações fisiológicas (taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática) e IC (índice de colheita).

- **Altura das plantas:** Foram feitas as medições de altura das plantas do milho seguindo a metodologia recomendada na literatura. Onde mede-se a distância entre a superfície do solo até a folha bandeira, foram amostradas 10 plantas por tratamento no pleno florescimento com auxílio de uma fita métrica.

- **Diâmetro do colmo:** Foram feitas as medições de diâmetro das plantas do milho seguindo a metodologia recomendada na literatura. Onde corresponde ao diâmetro do primeiro entrenó acima do colo da planta, foram amostradas 10 plantas por tratamento no pleno florescimento com auxílio de um paquímetro.

- **Altura de inserção de espiga:** Foram feitas as medições de altura de inserção de espiga. Medindo a distância entre a superfície do solo e a base da inflorescência feminina, foram amostradas 10 plantas por tratamento com auxílio de uma fita métrica.

- **Diâmetro da espiga (DE):** Foi feita a colheita do milho, no dia seguinte, no dia 12/07/12 foram feitas as análises das características de produção, incluindo o diâmetro da espiga que corresponde ao diâmetro médio da parte central das espigas, foram amostradas 10 espigas por tratamento, e os dados foram em milímetros.

- **Comprimento de espiga (CT):** Foram feitas as análises das características de produção, incluindo o comprimento de espiga que corresponde ao comprimento médio de 10 espigas por tratamento, e os dados foram em centímetros.

- **Comprimento preenchido de grão (CP):** Foram feitas as análises das características de produção, incluindo o comprimento preenchido com grãos de 10 espigas por tratamento, e os dados foram em centímetros.

- **Números de fileiras de grãos por espiga (NF):** Foram feitas as análises das características de produção, incluindo os números de fileiras de grãos por espiga que corresponde ao número médio de fileiras de grãos por espiga, foram amostradas 10 espigas por tratamento.

- **Números de grãos por fileira (NGF) :** Foram feitas as análises das características de produção, incluindo os números de grãos por fileiras que corresponde ao número médio de fileiras de grãos por espiga, foram amostradas 10 espigas por tratamento.

- **Número de grãos por espiga (GE):** Foram feitas as análises das características de produção, incluindo os números de grãos por espiga. Onde é o resultado da multiplicação do número de fileiras pelo número de grãos no comprimento da espiga de milho.

- **Massa de mil grãos (P1000):** Foram feitas as análises das características de produção, incluindo a massa de mil grãos. Esta medida foi feita através da pesagem de 1000 grãos de milho com auxílio de uma balança e a correção feita para o teor de umidade para 13%, com auxílio de um aparelho de medição de teor de umidade do grão.

- **Produtividade (Prod):** Foi obtida a partir da colheita e pesagem de grãos provenientes das espigas da área útil de cada parcela, determinando-se o teor de água equivalente a 13%, e conseqüentemente, teremos o resultado em kg ha^{-1} . Foi considerado para fazer esse cálculo a população final de plantas de 55000 plantas por hectare.

- **Massa de matéria seca (MS):** Foi feita a retirada das folhas, caule e raíz para determinar a MS do milho. O cálculo da massa de matéria seca por planta foi obtida pela média da massa de matéria seca de 10 plantas por tratamento, no final do ciclo da cultura, foram coletados separadamente, folhas, caules e raízes, posteriormente levadas à estufa de circulação de ar à 70°C para secagem até massa constante, medida com uma balança analítica com precisão de 0,01 g. A retirada do sistema radicular ocorreu por último, sendo no dia 17/07/12, após a retirada do sistema radicular das plantas de milho foi para secagem e no dia 22/07/12 foi feita a pesagem do peso seco do sistema radicular do milho.

- **Avaliação foliar:** Foi feita a retirada das folhas para análises de macronutrientes e micronutrientes no milho. O objetivo foi avaliar o estado nutricional das plantas no final do estresse hídrico para verificar uma possível diferença entre os tratamentos, as 10 folhas analisadas foram as folhas diagnose, foram coletadas por parcela, segundo procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997), que em seguida, foram secas em estufa de circulação forçada de ar à 60°C até atingir massa constante, e processadas em moinho. O material seco e moído foi analisado no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP, para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

- **Análises Enzimáticas:** No total, foram realizadas 2 coletas de material vegetal: a primeira foi realizada ao longo do período de estresse com 14 dias após o início; e a segunda foi aos 40 dias após o início do estresse hídrico.

As coletas procederam da seguinte maneira: o material vegetal foi coletado do terço médio da planta, com o uso de canivete, essas folhas coletadas antes do sol nascer, a fim de impedir a degradação das enzimas pela luz, posteriormente colocadas em sacos plásticos e embrulhadas em papel alumínio devidamente identificado, em seguida foram congeladas em nitrogênio líquido, a fim de paralisar todas as reações imediatamente.

O material levado ao laboratório foi submetido a um congelamento imediato em nitrogênio líquido (-196°C), para preservação da integridade das moléculas protéicas, sendo então, acondicionado em freezer a temperatura -80°C .

A determinação da atividade de superóxido dismutase (SOD) nos extratos das plantas seguiram metodologia descrita por Beauchamp e Fridovich (1971). A determinação da atividade da enzima SOD nos extratos vegetais procedeu da seguinte maneira: tomou-se certa quantidade do extrato bruto, adicionando-se solução tampão padrão de fosfato de potássio (pH 7,8). A reação foi iniciada pela iluminação dos tubos, em câmara composta por tubos fluorescentes (15W), a 25°C . Passados 5 minutos de incubação, o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977). A determinação da atividade da SOD considera a capacidade da enzima em inibir a fotorredução do NBT (Azul de Nitrotetrazólio Cloreto). O composto azul formado (formazana) pela fotorredução do NBT foi determinado pela leitura em espectrofotômetro a 560 nm. Na interpretação dos resultados, considera-se que 1 unidade de SOD é definida como a atividade da enzima necessária para a inibição de 50% da fotorredução do NBT. Para o cálculo da atividade específica da enzima, considerou-se a porcentagem de inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína na amostra.

A atividade de POD foi analisada com a adição de 1 mL de tampão fosfato de sódio 0,1 M pH 6, 16,7 μL de guaiacol 0,2 M, 13,3 μL de H_2O_2 0,03 M, em 20 μL do extrato enzimático adaptado de Nakano e Asada (1981). A atividade enzimática foi determinada pelo acompanhamento do aumento da absorbância a 470 nm por 2 min, em intervalos de 15 segundos, e calculada com base no fator de extinção de $26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

A atividade da catalase (CAT) foi determinada pela adição de 100 μL de extrato enzimático bruto a 3 mL de uma solução com H_2O_2 12,5 mM em tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7, a 30°C (HAVIR; MCHALE, 1987). A atividade de CAT foi determinada pela medição da redução na absorvância das amostras a 240 nm, em consequência do consumo de H_2O_2 , usando-se o coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Anderson *et al.*, 1995).

- **Irga:** Foi feita a primeira leitura do Irga e a segunda leitura foi feita no dia 30/6/12. As leituras foram feitas para avaliar as respostas fisiológicas das plantas aos tratamentos, foi analisado a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração da folha, com o IRGA LI-6400 (LICOR, USA). Essas leituras foram realizadas em folhas fisiologicamente maduras e não sombreadas. As medições foram realizadas às 10:00 h, horário de maior demanda evapotranspirométrica, em dia típico sem nebulosidade, para evitar instabilidades causadas por variações rápidas da radiação solar.

- **Índice de Colheita:** É a proporção entre a massa seca dos grãos pela massa seca total das plantas de milho

3.8- Análise Estatística

As variáveis analisadas foram submetidas ao teste de normalidade e homogeneidade pelo programa estatístico R.

Para a análise estatística, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com ajuda do programa estatístico Sisvar 5.3.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Características biométricas

Na Tabela 4, as características biométricas foram analisadas antes do estresse hídrico, ou seja, o fator que poderia e diferiu estatisticamente foi apenas quando comparado o milho transgênico e o milho convencional.

Tabela 4- Características biométricas do milho em relação ao milho.

Milho	Altura de Plantas (m)	Inserção de Espiga (m)	Diâmetro de colmo (mm)
Transgênico	1,78 a	1,09 a	15,8 b
Convencional	1,74 a	1,01 b	16,9 a
CV (%)	4,21	6,93	6,56
Média	1,76	1,05	16,35
DMS	0,05	0,05	0,69

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A altura de plantas não apresentou diferença estatística entre o milho convencional e o milho transgênico, variando de 1,74 – 1,78 m, respectivamente. Corroborando com esse resultado, Riquetti (2011), observou não haver diferença estatística entre milho convencional e transgênico quando submetidos a diferentes manejos de solo, onde a altura do milho variou de 2,41 – 2,48 m. Resultados semelhantes foram observados também em estudo de Werle et al. (2011), onde analisaram-se oito híbridos de milho isôgenos (convencional e transgênico) com três aplicações de inseticidas e observaram que sete desses materiais não apresentaram diferença estatística para altura de plantas, apenas um material apresentou diferença estatística entre o material convencional e transgênico.

A inserção de espiga apresentou diferença estatística entre o milho convencional e o milho transgênico, variando de 1,01 – 1,09 m, nota-se que apesar da pequena diferença numérica apresentou diferença estatística entre o material isogênico. De acordo com Werle et al. (2011), analisando oito diferentes híbridos de milho isôgenos (convencional e transgênico) com três aplicações de inseticidas observaram que três desses materiais não apresentaram diferença para inserção de espiga, mas cinco desses materiais apresentaram diferença estatística entre o material convencional e transgênico.

Vale salientar que altura de planta e inserção de espiga são fatores que em geral não sofrem grandes variações para cultivares testadas em um mesmo local, sobre as mesmas condições climáticas e de solo, conforme relatam Souza et al. (2001).

Sawazi e Paterniani (2004), estudando as cultivares modernas de milho, mostraram uma tendência na redução da altura de planta e da altura da inserção da espiga apresentando também uma arquitetura ereta de folhas e ciclo precoce, permitindo uma maior quantidade de plantas por hectare sem que haja estresse populacional. Ainda, segundo os mesmos autores, cerca de 90% das cultivares de milho existente no mercado apresentam altura máxima de 2.5 m, e 83% possuem altura de espiga até 1,3 m. O porte mais baixo da planta e da espiga auxiliam no manuseio da polinização artificial em experimentos direcionados e facilita também a colheita, além de evitar o acamamento e quebramento das plantas de milho. O milho utilizado no estudo atual, o 2B587 está perfeitamente enquadrado neste contexto, pois a altura não ultrapassou 1,79 m e também

não ultrapassou a altura de inserção de espiga de 1,09 m, portanto, considerado um material moderno, fácil manuseio para polinização artificial, além de ser considerado um material de fácil colheita.

Araújo (1992), observou que as variáveis altura de planta e de inserção de espiga apresentaram correlação positiva com acamamento e tombamento de planta e diz poder considerar que estas características com valores elevados podem ser consideradas indesejáveis, mas em estudos mais recentes como o de Werle et al. (2011), observaram que altura de planta e inserção de espiga não são determinantes para tombamento e acamamento de planta, pois esses fenômenos também estão associados a outras características. Corroborando com Werle et al. (2011), o estudo de Almeida Filho et al. (1999), ao avaliar diferentes híbridos de milho, observaram que a altura dos híbridos não apresentou relação com o acamamento das plantas.

Segundo Silva (2000), plantas mais alta, resultam em maiores alturas de inserção da espiga, sendo essa característica relacionada a fatores genéticos, resultado semelhante foi encontrado no estudo atual, pois o milho transgênico apresentou maior altura de plantas e maior altura de inserção de espiga quando comparado ao milho convencional.

De acordo com a Tabela 4, o milho transgênico apresentou uma menor relação entre altura da planta e altura da inserção de espiga, com um valor de 1,63 contra um valor de 1,72 do milho convencional. De acordo com Santos et al. (2002), ao avaliar o desempenho agrônomico de híbridos de milho, verificaram alta relação entre altura da planta e a altura da inserção da espiga, sendo que também estas duas características se correlacionam com a produtividade, portanto características desejadas a ser analisadas.

O diâmetro de colmo apresentou diferença estatística entre o milho transgênico e milho convencional, variando de 15,8 – 16,9 mm, respectivamente. Contradizendo esse resultado, Werle et al. (2011), observaram que o diâmetro do colmo foi significativamente maior no híbrido transgênico quando comparado ao não transgênico, variando entre 22,73 e 23,74 mm. Bortoloto e Silva (2009) observaram que o diâmetro do colmo também não é modificado com a presença do gene *Bt* nos quatro híbridos testados.

E por fim, segundo Sangoi et al. (2001), estudando materiais de ciclos diferentes, observaram que os híbridos de ciclo tardio tem maior diâmetro de colmo quando comparado com híbridos de ciclo super precoce e ciclo precoce, o estudo mostrou uma tendência de quanto maior o ciclo da cultura do milho maior foi o diâmetro da cultura do milho, além disso, observou-se que conforme foi aumentada a população da cultura teve uma tendência de diminuição do diâmetro na cultura do milho, as populações analisadas foram de 25, 50, 75 e 100 mil plantas por hectare, paralelamente com a diminuição do diâmetro do colmo houve um aumento do número de plantas acamadas e quebradas. Conforme Cadore (2008), plantas com diâmetro do colmo maior apresenta inserção de espigas mais altas e maior tolerância ao acamamento, isso contradiz o atual estudo pois o milho transgênico obteve uma maior altura de inserção de espiga e um diâmetro do colmo menor, e o inverso aconteceu para o milho convencional.

O milho convencional apresentou uma menor altura de plantas, altura da inserção da espiga, e com o maior diâmetro de colmo, podendo tornar o colmo mais vigoroso e até mesmo podendo ocasionar um menor número de plantas quebradas, aumento na sustentabilidade da planta, resultados semelhantes foram destacados por (CARVALHO, 2007), quando avaliaram o índice de quebramento das plantas na cultura do milho.

Vale ressaltar que todos esses resultados foram obtidos em casa de vegetação, onde não teve a incidência de pragas, portanto o material convencional não encontrou barreiras ou empecilhos para o seu desenvolvimento. Seria recomendado em futuros estudos observam isso no campo para ver se haverá uma mesma resposta.

Na Tabela 5, observou-se as características biométricas para o fator água, as variáveis foram analisadas antes do estresse hídrico, ou seja, não teve interferência do fator água, com isso nota-se não haver diferença estatística entre os quatro diferentes níveis de estresse hídrico nas características avaliadas como: altura de plantas, altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo. A altura de plantas, altura de inserção de espiga e diâmetro do colmo já estavam definidas antes do início do estresse hídrico, principalmente, altura de plantas que desenvolve-se até o florescimento, momento em que foi iniciado o estresse hídrico; e altura de inserção de espiga também já havia sido

definida. Nessas duas características avaliadas observa-se uma pequena variação do mínimo e máximo das leituras, para altura de plantas, variando entre 1,76 – 1,79 m e para inserção de espiga variou de 1,03 – 1,06 m. Já para o diâmetro do colmo houve uma diferença variando de 15,8 – 16,8 mm, e também não houve diferença estatística, essa característica poderia ser influenciada após o estresse hídrico, mas esse efeito não apresentou alterações significativas.

Tabela 5- Características biométricas do milho em relação à água.

Depleção	Altura de Plantas (m)	Inserção de Espiga (m)	Diâmetro de colmo (mm)
20%	1,79 a	1,06 a	16,6 a
30%	1,79 a	1,06 a	16,8 a
40%	1,76 a	1,03 a	16,2 a
50%	1,76 a	1,06 a	15,8 a
CV (%)	4,21	6,93	6,56
Média	1,76	1,05	16,35
DMS	0,09	0,09	1,3

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

4.2 Características produtivas

Na Tabela 6, analisou-se diâmetro de espigas (DE), comprimento total de espigas (CT), o comprimento preenchido de grãos (CP), números de fileiras por espiga (NF), número de grãos por fileira (NGF), grãos por espiga (GE), massa de 1000 grãos (P1000) e a produtividade (Prod). Nota-se que estas variáveis não apresentaram diferença significativa quando analisamos o fator milho, ou seja, não houve diferença significativa entre o milho transgênico e o milho convencional. Como resultados valores entre 43,5 cm e 44,6 cm quando comparado o milho convencional e o milho transgênico, respectivamente. Riquetti (2011) observou o mesmo resultado, onde a medida do diâmetro de espigas não houve diferença significativa entre os preparos e entre híbridos, porém a interação entre ambos foi significativa, mesmo apesar de ocorrer diferença estatística significativa, agronomicamente

essas diferenças não são expressivas, tendo em vista que a diferença entre o maior e o menor diâmetro foi de apenas 1,54 mm.

Tabela 6- Características produtivas do milho em relação ao milho.

Milho	DE (mm)	CT (cm)	CP (cm)	NF	NGF	GE	P1000	Prod
Transgênico	44,6 a	13,8 a	8,6 a	12,7 a	16,7 a	216,6 a	351,9 a	4170,2 a
Convencional	43,5 a	13,9 a	8,6 a	13,2 a	17,8 a	234,4 a	339,4 a	4348,5 a
CV (%)	5,36	6,77	10,14	16,72	15,84	18,73	8,78	18,37
Média	44,05	13,85	8,6	12,95	17,25	225,5	345,65	4259,35
DMS	1,52	0,61	0,56	1,39	1,76	27,24	19,57	504,56

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O comprimento total de espigas é o tamanho inteiro da espiga, tamanho que poderia ser preenchida com grãos, e o comprimento preenchido de grãos é o total que foi preenchido efetivamente com grãos, ou seja, granado. A diferença dessa duas variáveis obtemos quantos cm a espiga deixou de granar. O comprimento total da espiga variou 13,8 – 13,9 cm entre o milho transgênico e o milho convencional, não havendo diferença estatísticas entre eles. O comprimento preenchido de grãos também não diferiu estatisticamente quando comparado o milho convencional e o milho transgênico, e em ambos os casos, os valores alcançado foi de 8,6 cm de granação. Em contraste a esses resultados Riquetti (2011), observou que o comprimento de espigas apresentava diferença significativa entre os diferentes híbridos, ou seja, entre o milho convencional e o milho transgênico, apresentando valores de 17,44 cm e 16,84 cm respectivamente, em diferentes manejos de preparo de solo.

O número de fileira de grãos não diferiu estatisticamente entre o milho convencional e o milho transgênico, demonstrando realmente ser um material com mesma herança genética, a inserção do gene à tolerância as pragas no milho transgênico não interferiu no material. Os dois tratamentos (T1 e T2) apresentaram valores médios variando entre 12,7 a 13,2 números de fileiras de grãos por espiga, respectivamente. Bortoloto e Silva (2009) também analisaram os números de fileiras por espiga em dois milhos isôgenos, e chegou a resultados muito semelhante para todos os híbridos ficando em torno de 13,5, onde esses valores não diferiram estatisticamente. Em contraste com esses resultados, Riquetti (2011)

observou que o número de fileiras de grãos por espiga não apresentou diferença significativa entre os preparos de solo, mas sim entre os híbridos, sendo que o milho transgênico apresentou valor significativamente maior que o milho convencional com os resultados variando de 16,37 a 16,98.

O número de grãos por fileira no presente estudo não apresentou diferença estatística entre o milho convencional e o milho transgênico, o milho convencional obteve 17,8 e o milho transgênico 16,7 grãos por fileira. Essa baixa quantidade de número de grãos de fileiras foi devido as condições desfavoráveis, causada neste estudo pelo estresse hídrico, com certeza houve uma redução do número de estilos estigmas produzidos, o que resultou em baixa polinização dos óvulos e restringiu o número de grãos que se desenvolveram. Bortoloto e Silva (2009) analisaram os números de grãos por fileira em dois milhos isôgenos, e chegou a resultados variando entre 33,6 – 35,1 os valores não diferiram estatisticamente.

A quantidade de grãos por espiga também não houve diferença estatística entre o milho convencional e o milho transgênico, os valores médios deles são de 234,4 para o milho convencional e de 216,6 para o milho transgênico. Bortoloto e Silva (2009) analisaram os grãos por espiga em dois milhos isôgenos chegou a resultados variando entre 463 – 481 onde esses valores não diferem estatisticamente. Nesta variável fica nítido a grande diferença do número de grãos por espiga em relação ao presente estudo e o estudo do Bortoloto e Silva (2009), isso é facilmente explicado pelo estresse hídrico que tanto o milho convencional quanto o milho transgênico foram submetidos, a formação e o enchimento dos grãos foi afetado e conseqüentemente ocasionou um abortamento e redução da produtividade da cultura do milho no experimento.

A massa de mil grãos não diferiu entre o milho convencional e o milho transgênico, apesar da maior massa encontrada no milho transgênico. O milho convencional apresentou 339,4 g e o milho transgênico obteve o resultado de 351,9 g em mil grãos de milho. Galina (2010) observou resultados parecidos, onde os valores mais elevados em massa de mil grãos foi encontrado nos híbridos transgênicos quando comparados com o convencional. Riquetti (2011) comparou a massa de mil grãos, e constatou não haver diferença significativa entre os tratamentos com milho convencional e o milho transgênico. Porém, este autor obteve

uma maior massa para o milho convencional frente ao milho transgênico, esses valores foram 305,6 e 303,04 g, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Bortoloto e Silva (2009), onde analisou a massa de mil grãos em dois milhos isôgenos, e obteve resultados variando entre 398 – 442 g, resultados que não diferem estatisticamente. A massa de grãos é um componente de rendimento determinante, que depende: do tamanho e duração de funcionamento do aparelho fotossintético das partes superiores da planta; da capacidade de transferência dos fotoassimilados para as cariopses; da duração do período de enchimento de grãos; das condições climáticas ocorridas durante a fase de enchimento de grãos (umidade e nutrientes disponíveis, temperatura); da ocorrência de moléstias (especialmente nas folhas e espigas/panículas) e pragas (FLOSS, 2004).

No parâmetro de produtividade houve uma variação entre o milho transgênico e convencional, tiveram resultados entre 4.170,2 kg ha⁻¹ e 4.348,5 kg ha⁻¹, respectivamente, conforme observado na Tabela 6. O milho convencional produziu 4,28% a mais que o milho transgênico, mas vale ressaltar que não houve incidência das principais pragas da cultura do milho (lagarta do cartucho, lagarta da espiga e broca do colmo) no qual o milho convencional é suscetível e o milho transgênico é resistente, pois o experimento foi conduzido em ambiente protegido. Resultados semelhantes foram encontrados por Bortoloto e Silva (2009), estudando a produtividade em dois milhos isôgenos, obtiveram resultados variando entre 1.538 – 1.790 kg ha⁻¹, resultados que não diferiram estatisticamente.

Em resultados de Werle et al. (2011), analisando oito diferentes híbridos de milho isôgenos (convencional e transgênico), observaram que com três aplicações de inseticidas observaram que seis desses materiais na sua versão convencional apresentaram maior produtividade que o milho transgênico e em todas apresentaram diferenças significativas, e em apenas dois desses materiais isôgenos os milhos transgênicos apresentaram uma maior produtividade, mas nesses dois casos não houveram diferença estatística entre o material convencional e transgênico.

Neste mesmo estudo realizado por Werle et al. (2011) os resultados quando se faz apenas uma aplicação de inseticidas são bem diferentes, pois dos oito diferentes híbridos de milho isôgenos (convencional e transgênico), todos os milho com biotecnologia, ou seja, o milho transgênico apresentaram os melhores resultados quando comparado ao milho

convencional, mas em apenas um material apresentando diferença estatística. Segundo a AGROW (2011), o milho transgênico traz um aumento médio de 8% na produtividade.

Werle et al. (2011), ressaltam uma existência de correlação positiva entre produtividade de grãos, altura de planta e inserção de espiga, o que indica que híbridos mais altos e com inserção de espiga mais elevada apresentam uma tendência de maior produtividade de grãos. Mas isso não foi constatado no presente estudo, pois o material convencional apresentou menor altura de plantas, menor altura de inserção de espiga e apresentou uma maior produtividade de grãos.

Na Tabela 7, pode-se verificar os resultados dos diferentes níveis de estresse hídrico que a cultura do milho foi submetida. Analisando novamente as variáveis: diâmetro de espigas (DE), o comprimento total de espigas (CT), o comprimento preenchido de grãos (CP), números de fileiras por espiga (NF), o número de grãos por fileira (NGF), grãos por espiga (GE), massa de 1000 grãos (P1000) e a produtividade (Prod) não apresentaram diferença significativa

Tabela 7- Características produtivas do milho em relação à água.

Depleção	DE (mm)	CT (cm)	CP (cm)	NF	NGF	GE	P1000	Prod
20%	46,9 a	14,5 a	10,0 a	13,2 a	22,2 a	292,4 a	363,82 a	5833,68 a
30%	44,1 a	13,9 a	9,2 ab	13,9 a	19,0 ab	259,4 ab	327,38 a	4661,47 b
40%	44,6 a	13,7 a	8,4 b	13,3 a	16,4 b	216,3 b	331,86 a	3947,53 b
50%	40,6 b	13,5 a	6,7 c	11,4 a	11,5 c	133,8 c	359,48 a	2594,57 c
CV (%)	5,36	6,77	10,14	16,72	15,84	18,73	8,78	18,37
Média	44,05	13,85	8,6	12,95	17,25	225,5	345,65	4259,35
DMS	2,87	1,14	1,05	2,63	3,32	51,28	36,85	949,94

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para a variável diâmetro de espiga, os dados demonstram haver diferença estatística entre os tratamentos, o tratamento com 20% de depleção (T1) foi o tratamento que obteve os maiores diâmetro, mas diferenciando estatisticamente apenas do tratamento com 50% de depleção (T4). Resultados diferentes foram observados por Ferreira et al. (2011), onde a variável diâmetro da espiga do milho doce, não se verificou efeito das

lâminas de irrigação aplicadas até os 90 dias após semeadura, ou seja, durante o período vegetativo da cultura do milho doce.

O comprimento total da espiga variou 13,5 (T4) – 14,5 (T1) cm entre o menor e maior valores, todos os valores podem ser visto na Tabela 7, mas nenhum dos tratamentos houve diferença estatística. Já o comprimento preenchido de grãos diferiu estatisticamente quando analisado as quatro diferentes porcentagens de depleção, onde o tratamento com 20% de depleção (T1) apresentou a maior quantidade de grãos até a ponta da espiga, ou seja, apresentou a menor “chupeta”. Este tratamento (T1) diferiu estatisticamente do tratamento com 40% (T3) e 50% de depleção (T4), onde o tratamento com 50% de depleção (T4) foi o que obteve o menor preenchimento com grãos, apresentando valores médios de apenas 6,7 cm.

O número de fileiras não apresentou diferença significativa quando analisado as quatro diferentes quantidades irrigadas, e observamos valores variando entre 11,4 e 13,9. Apesar de receber quantidades diferentes de irrigação, o número de fileiras não apresentou diferenças significativas, isso se deve ao fator genético do híbrido do milho, ou seja, por se tratar do mesmo material não apresenta grande variação, e ainda podemos dizer que esse fator é definido no estágio vegetativo, portanto, não há motivos para diferenciar no presente estudo, já que houve início das diferentes irrigações ou estresse hídrico após o florescimento da cultura. Corroborando com esses resultados, Ferreira et al. (2011), obtiveram em média 14 -16 números de fileiras (NF), não se observando efeito das lâminas de irrigação aplicadas em função da evapotranspiração da cultura. Magalhães et al. (2002), cita também que o número de fileiras por espiga é definido no estágio V8 (estádio vegetativo com oito folhas), sendo que o estresse hídrico nesta fase é crítico, todavia, ao avaliar as precipitações no período de cultivo, verifica-se que houve chuvas, as quais podem ter contribuído com a definição do número de grãos por fruto.

O número de grãos por fileira demonstra diferença estatística quando analisado diferentes irrigações na cultura do milho, o tratamento com 20% de depleção (T1) foi o que obteve as maiores números de grãos por fileira, com um valor médio de 22,2, diferenciando estatisticamente do tratamento de 40% (T3) e 50% de depleção (T4). Houve uma redução do número de grãos por espiga do tratamento de 20% de depleção (T1) para 30%

(T2), 40% (T3) e 50% (T4), esses valores são observados na Tabela 7, destaque para à diferença de aproximadamente 100% entre o tratamento de 20% de depleção (T1) para o tratamento de 50% de depleção (T4). Em contraste a esses resultados, em estudo realizado por Ferreira et al. (2011), obtiveram em média 33 grãos por fileira (NGF), não se observando, contudo, efeito das lâminas de irrigação aplicadas em função da evapotranspiração da cultura. Novamente, observa-se uma grande diferença entre o presente estudo e o de Ferreira et al. (2011), explicado pela intensidade de estresse hídrico no presente estudo.

O número de grãos por espiga foi influenciado estatisticamente quando as plantas de milho foram submetidas a diferentes níveis de estresse na cultura do milho, o tratamento com 20% de depleção (T1) foi o que obteve os maiores números de grãos por espiga, diferenciando estatisticamente do tratamento de 40% (T3) e 50% de depleção (T4). Houve uma redução do número de grãos por espiga do tratamento de 20% de depleção (T1) para 30% (T2), 40% (T3) e 50% (T4), estes valores são observados na Tabela 7. Nota-se uma diferença de 33 grãos por espiga entre o tratamento de 20% (T1) e 30% (T2) que apesar de não ter diferenciado estatisticamente é uma quantidade importante quando se analisa uma população final de 55000 plantas por hectare, ou seja, 55000 espigas por hectare, transformando estes valores, chegariam a uma perda de produtividade de quase 639 quilos por hectare. Segundo Moura et al. (2006), estudando o crescimento e produtividade do milho sob intervalos de irrigação, os quais ocasionaram redução da disponibilidade de água, observaram efeitos significativo no número de grãos por espiga. Em contraste a esses resultados, em estudo realizado por Ferreira et al. (2011), obtiveram um número de grãos por espiga variando entre 448 e 480 grãos, contudo novamente o efeito das lâminas de irrigação aplicadas em função da evapotranspiração da cultura não diferiram estatisticamente. Em estudo realizado por Silva et al. (2009), avaliando as variáveis números de grãos por espiga, observaram que elas não variaram em função dos diferentes períodos de irrigação, porém no tratamento sem irrigação o número de grãos por espiga diminuíram em relação aos outros tratamentos com irrigação. A justificativa foi que a planta visando a proliferação e perpetuação da espécie, não comprometa a formação de materiais propagativos, face ao fato, nota-se, nestas variáveis, mesmo com a redução na disponibilidade hídrica, falta de efeito significativo.

A massa de mil grãos não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, o tratamento com 20% de depleção (T1) apresentou os maiores valores, sendo este valor de 363,82 g por mil grãos. Vale ressaltar que o tratamento com 50% de depleção (T4) obteve um valor alto (359,48 g), valor muito próximo ao tratamento com 20% de depleção (T1), mas podemos explicar isso, pois a quantidade de grãos obtidas pelo tratamento com 50% de depleção (T4) foi muito baixo, fazendo com que os poucos grãos que formou fossem bem granados, ou seja, enchido. Os tratamentos com 30% (T2) e 40% de depleção (T3) ficaram com valores um pouco inferior, apresentando valores 327,38 e 331,86 g por mil grãos, respectivamente.

A maior produtividade foi encontrada no tratamento com 20% de depleção (T1), diferenciando estatisticamente de todos os outros tratamentos (T2 / T3 e T4), apresentando uma produção média de 5.833,68 kg ha⁻¹, seguido do tratamento com 30% de depleção (T2), onde apresentou uma produção média de 4.661,47 kg ha⁻¹, seguido pelo tratamento com 40% de depleção (T3), apresentando uma produtividade média de 3.947,53 kg ha⁻¹, e a menor produtividade foi observada no tratamento com 50% de depleção (T4), cuja produtividade foi apenas de 2.594,57 kg ha⁻¹. A diferença entre o tratamento de 20% (T1) para o de 30% de depleção (T2) é 20% maior de produtividade, do tratamento de 20% (T1) para o de 40% de depleção (T3) é 48% maior de produtividade, e por fim a diferença entre a maior produtividade do tratamento com 20% depleção (T1) para a menor produtividade do tratamento com 50% de depleção (T4) tem uma diferença de 125% de produtividade. Conforme em trabalho descrito por Welcker et al. (2007), a cultura do milho é extremamente sensível ao estresse hídrico, a redução na disponibilidade hídrica reduz a produção, sendo necessário avaliar a relação custo benefício. Ferreira *et al.*, (2011), observaram que a maior produção ocorreu nas lâminas superiores a 80% da ETc, sendo esta indicada para o sistema de produção de milho doce no semi-árido. Pesquisas mostram que dois dias de estresse hídrico podem reduzir até 20% de produtividade e que estresse hídrico de quatro a oito dias diminui a produção em mais de 50%. Considera-se, ainda, que o período que vai da iniciação floral até o desenvolvimento da inflorescência e o período do pendoamento até a maturação são as fases críticas do déficit hídrico (Magalhães et al., 2002). No estudo atual, a diferença entre a maior produtividade do tratamento de 20% (T1) comparado com o tratamento de 30% (T2), 40%

(T3) e 50% de depleção (T4) são de: 25%, 48% e 125%, respectivamente, mas o período de duração do estresse foi de 48 dias. Bergamaschi et al. (2006), obtiveram resultados em que a adoção de uma dose de rega de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo permite aumentar a eficiência de uso da irrigação.

É de extrema importância pesquisas voltada para a eficiência do uso da água, principalmente, quando pensamos em grandes culturas que têm uma alta demanda de água para alcançar altíssimas produtividades. A importância de saber o melhor custo benefício da irrigação, ou até mesmo as perdas com o estresse hídrico é demonstrado em alguns estudos, como o de Machado (2008), que observou produtividade média de 6000 kg ha⁻¹ para o milho de sequeiro e 10.000 kg ha⁻¹ para o milho irrigado, uma diferença de 66%. Além dele, Bergamaschi et al. (2004) assinalam que a produtividade média do milho no estado do RS variou de 2.097 kg ha⁻¹ em 1995/1996, durante período de precipitação abaixo do normal para 3.750 kg ha⁻¹ em 2002/2003 com uma precipitação considerada normal na região.

4.3- Matéria Seca

A quantidade de matéria seca do caule apresentou diferença estatística entre o milho convencional e o milho transgênico, apresentando o milho transgênico uma maior quantidade, sendo este valor de 32,47 g e o milho convencional apresentando um valor 25,52 g. Essa maior quantidade de matéria seca do caule pode ser explicado pela maior altura de plantas apresentado pelo milho transgênico. De acordo com Fialho et al. (2012), o milho plantado em uma área sem plantas daninhas teve uma maior quantidade de matéria seca do caule, diferenciando estatisticamente dos outros três tratamentos onde cada tratamento apresentavam diferentes plantas daninhas, portanto em uma área limpa favorece o aumento de matéria seca do caule do milho.

Tabela 8- Matéria Seca de caule, folha e raiz do milho em relação ao milho.

Milho	Caule (g)	Folha (g)	Raíz (g)
Transgênico	32,47 a	40,74 a	36,48 a
Convencional	25,52 b	39,45 a	35,90 a
CV (%)	18,84	9,24	25,23
Média	28,99	40,09	36,19
DMS	3,52	2,39	5,89

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A quantidade de matéria seca de folha não apresentou diferença estatística entre o milho convencional e o milho transgênico, e novamente o milho transgênico apresentou uma maior quantidade, o milho transgênico apresentou um valor de 40,74 g e o milho convencional 39,45 g. De acordo com Fialho et al. (2012), o milho sem a presença de plantas daninhas na área tem uma maior quantidade de matéria seca de folha, diferenciando estatisticamente dos outros três tratamentos onde haviam diferentes plantas daninhas, portanto em uma área limpa favorece o aumento de matéria seca.

E por fim, a quantidade de matéria seca da raiz também não apresentou diferença estatística entre o milho transgênico e o milho convencional. Os valores pode ser visto na Tabela 8. Resultados semelhantes foram encontrados por Basilli et al. (2008) que, comparando um material convencional e um material transgênico não encontrou diferença estatística entre os tratamentos, sendo que dentro de cada material havia também diferentes adubações e diferentes dosagens de aplicação de inseticidas, não havendo diferença estatística quando analisado a variável massa de matéria seca da raiz. Fialho et al. (2012), também observaram não haver diferença estatística entre os quatro tratamentos utilizados, onde um tratamento era com a presença isolada do milho e os outros três tratamentos eram com milho e diferentes plantas daninhas em cada tratamento, novamente percebemos que quanto mais limpa for a área, maior será o acúmulo de matéria seca, no caso observamos uma aumento de matéria seca da raiz.

A quantidade de matéria seca do caule diferenciou estatisticamente entre o tratamento com 20% de depleção (T1) e 50% de depleção (T4) para o tratamento com 40% de depleção (T3), conforme observado na Tabela 9. Os maiores valores foram observado

no tratamento com 50% de depleção (T4), tratamento no qual foi submetido ao maior estresse hídrico. Santiago et al. (2000) em sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth), encontraram incremento da biomassa do caule de 39,5% e 46%, 32% e 38,5% e 29% e 37%, com restrição hídrica severa (25% da capacidade campo) e moderada (50% da capacidade de campo) e controle, respectivamente, aos 65 e 90 dias pós-plantio. Resultados diferentes foram encontrados por Bergonci et al. (2001) que, observando a diferença de rendimento e matéria seca aérea entre os tratamentos irrigado e não irrigado notou que durante quatro anos agrícolas a matéria seca da parte aérea no tratamento irrigado foi superior e diferente estatisticamente quando comparado ao tratamento não irrigado nos mesmo quatro anos agrícolas. Bergonci et al. (2001), Paiva (2007), notou uma diminuição de massa seca de caule, em função do déficit hídrico em *Macrotyloma axillare* (E. Mey) Verdct. cv. Java, em que a massa seca de caule reduziu-se gradativamente quando a disponibilidade hídrica do solo passou de 60% para 35%; e Correia e Nogueira (2004), que encontraram reduções de 52% na massa seca de caule de amendoim (*Arachis hypogaea* L) quando submetidos a estresse hídrico.

Tabela 9- Matéria seca de caule, folha e raiz do milho em relação à água.

Depleção	Caule (g)	Folha (g)	Raiz (g)
20%	31,67 a	43,31 a	31,10 a
30%	27,17 ab	39,92 ab	38,84 a
40%	24,02 b	37,43 b	36,18 a
50%	33,11 a	39,72 ab	38,64 a
CV (%)	18,84	9,24	25,23
Média	28,99	40,09	36,19
DMS	6,63	4,5	11,09

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A quantidade de matéria seca de folha diferenciou estatisticamente entre o tratamento com 20% de depleção (T1) e o tratamento com 40% de depleção (T3) conforme observado na Tabela 9. Os maiores valores foi observado no tratamento com 20% de depleção (T1), ou seja, o tratamento que obteve a maior irrigação. Monteiro (2009) observou que o aumento da matéria seca de folhas foi acompanhado pela maior quantidade de

água disponibilizada à planta, no estudo tinha quatro tratamentos, que consistiam em quatro diferentes regimes de irrigação, correspondendo à aplicação de água para atingir no máximo 25%, 50%, 75% e 100% da umidade à capacidade de campo, isso confirma a importância da água como o componente majoritário da célula e essencial ao crescimento dos vegetais. Além do trabalho desenvolvido por Bergonci et al. (2001) que, observando a diferença de rendimento e matéria seca aérea entre os tratamentos irrigado e não-irrigado notou que durante quatro anos agrícolas a matéria seca da parte aérea no tratamento irrigado foi superior e diferente estatisticamente quando comparado ao tratamento não irrigado nos mesmo quatro anos agrícolas.

O aumento da matéria seca de folhas com a maior umidade do solo foi observado em vários trabalhos de pesquisa, Paiva (2007) constatou em *Macrotyloma axillare* (E. Mey) Verdt. cv. Java, leguminosa herbácea, crescimento linear de matéria seca de folhas no intervalo de 35% a 60% de disponibilidade hídrica no solo; Correia & Nogueira (2004), em amendoim (*Arachis hipogea* L. cv. 55437), submetido à suspensão total de rega, constataram redução de 71% da massa de folhas em relação ao controle (com irrigação); Figuerôa et al. (2004), em trabalho com *Myracrodunon urundeuva* (aroeira), planta que cresce naturalmente na região semi-árida, verificaram maiores produções de massa foliar a 75% capacidade de campo e menores com o aumento do déficit hídrico.

A quantidade de matéria seca da raiz não apresentou diferença estatística entre os quatro tratamentos, no qual consiste em quatro tratamentos de diferentes estresses hídricos, onde os valores médios variaram entre 31,10 – 38,84. O maior valor de matéria seca foi encontrado no tratamento com 30% de depleção (T2), seguido do tratamento com 50% de depleção (T4), o qual era o menos irrigado, e a menor quantidade de material seco da raiz foi no tratamento com 20% de depleção (T1), ou seja, o tratamento mais irrigado. Muitos autores afirmam que a biomassa da raiz aumenta sob condições do aumento do déficit hídrico, mecanismo que confere tolerância ao estresse hídrico. É o caso de Lenhard (2008), que encontrou, em mudas de pau ferro (*Caesalpinia ferrea*), maior crescimento das raízes quando submetidas a 12,5% da capacidade de campo. Maior massa de raiz sob menor disponibilidade de água também foi constatada por Pinto (2006), em mamona, gergelim e amendoim, Correia e Nogueira (2004), em amendoim e por Pimentel e Perez (2000), em feijão

comum. De acordo com Monteiro (2009), houve crescimento da matéria seca de raiz, quando a umidade do solo aumentou até 75% da umidade à capacidade de campo, apresentando, a partir daí, ligeiro decréscimo. Esse comportamento indica que para o crescimento máximo, as raízes demandam menos água que a parte aérea, ou seja, sob maior teor de umidade do solo, a prioridade é o crescimento da parte aérea, uma vez que as raízes não precisam crescer para captar a água que está disponível de modo satisfatório. Os resultados encontrados neste trabalho discordam com alguns autores como Santiago et al. (2000) que, avaliando crescimento de plantas jovens de *Mimosa caesapiniifolia* Benth, encontraram que o estresse diminuiu o peso de massa seca de raiz; Paiva (2007), que encontrou valores decrescentes na massa fresca de raiz de *Macrotyloma axillare* (E. Mey) Verdc. Cv. Java, quando submetida a déficit hídrico.

4.4- Análise Foliar

A prática de avaliação foliar é tão importante quanto a análise de solo, sendo esta análise complementar a análise de solo e, portanto, não a substitui, essa análise reflete diretamente o que a planta assimilou efetivamente do solo segundo a correção efetuada, portanto, o estado nutricional do mesmo, as condições climáticas do período, o tipo de híbrido utilizado e o tipo de solo: a soma do ambiente + o substrato + genética do material. Os resultados são expressos em g do nutriente para cada kg de matéria seca de folha de milho para os macronutrientes, e os micronutrientes são requeridos em menor quantidade, sendo expresso em mg do nutriente para cada kg de massa seca, mas sua falta tem efeitos negativos na produtividade do cereal da mesma maneira que os macronutrientes.

Essa prática é feita geralmente no pleno florescimento da cultura, mas no presente trabalho foi realizada no final do estresse hídrico, aproximadamente 48 dias após o florescimento, pois o interesse foi verificar se havia ocorrido diferença no comportamento entre o milho convencional e o milho transgênico, assim como se poderíamos verificar diferença entre os quatro diferentes estresses hídrico na cultura do milho.

Como observado na Tabela 10, não houve diferença estatística entre o milho transgênico e o milho convencional quando as variáveis analisadas foram os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S).

Tabela 10- Análise foliar de macronutrientes em relação ao milho.

Milho	N	P	K	Ca	Mg	S
Transgênico	6,49 a	0,43 a	18,00 a	5,71 a	4,17 a	1,44 a
Convencional	7,25 a	0,55 a	18,10 a	6,28 a	4,42 a	1,44 a
CV (%)	25,19	66,53	10,68	15,45	12,52	4,01
Média	6,87	0,49	18,02	5,99	4,29	1,44
DMS	1,12	0,21	1,24	0,59	0,35	0,04

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

E como observado na Tabela 11, não houve diferença estatística entre o milho transgênico e o milho convencional quando as variáveis analisadas foram os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn).

Tabela 11- Análise foliar de micronutrientes em relação ao milho.

Milho	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Transgênico	19,48 a	3,45 a	213,6 a	48,8 a	4,55 a
Convencional	20,14 a	3,35 a	225,3 a	52,0 a	5,40 a
CV (%)	14,03	51,09	27,56	21,34	66,48
Média	19,81	3,4	219,4	50,4	4,98
DMS	1,79	1,12	39,01	6,94	2,13

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Como observado na Tabela 12, não houve diferença estatística entre os tratamentos de diferentes porcentagem de depleção quando analisado as variáveis macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S).

Tabela 12- Análise foliar de macronutrientes do milho em relação à água.

Depleção	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
20%	7,14 a	0,67 a	17,64 a	6,34 a	4,28 a	1,48 a
30%	6,43 a	0,42 a	18,17 a	5,93 a	4,21 a	1,43 a
40%	7,08 a	0,47 a	19,27 a	6,13 a	4,47 a	1,42 a
50%	6,83 a	0,39 a	17,01 a	6,13 a	4,21 a	1,43 a
CV (%)	25,19	66,53	10,68	15,45	12,52	4,01
Média	6,87	0,49	18,02	5,99	4,29	1,44
DMS	2,1	0,33	2,34	1,13	0,65	0,07

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste do Tukey a 5% de probabilidade

Como observado na Tabela 13, também não houve diferença estatística entre os tratamentos de diferentes porcentagem de depleção quando analisado as variáveis micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn).

Tabela 13- Análise foliar de micronutrientes do milho em relação à água.

Depleção	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
20%	20,37 a	4,2 a	199,0 a	55,10 a	7,00 a
30%	19,97 a	3,2 a	238,8 a	48,50 a	3,20 a
40%	20,11 a	3,6 a	223,4 a	50,1 a	5,50 a
50%	18,79 a	2,6 a	216,4 a	47,9 a	4,20 a
CV (%)	14,03	51,09	27,56	21,34	66,48
Média	19,81	3,4	219,4	50,4	4,98
DMS	3,37	2,11	73,44	13,06	4,02

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste do Tukey a 5% de probabilidade

4.5- Enzimas Oxidativas

Na Tabela 14, podemos observar que para a proteína SOD houve diferença estatística entre o milho transgênico (T1) e o milho convencional (T2), o milho convencional (T2) apresentou atividades mais elevadas, ou seja, tinha mais protetores contra o

estresse que os milhos foram submetidos nos primeiros quatorze dias de estresse hídrico. Conclui-se que, o milho transgênico (T1) tem uma melhor tolerância ao estresse hídrico que eles foram submetidos. De acordo com Chang e Kao (1998), observaram enzimas antioxidativas têm importante papel na adaptação e sobrevivência de plantas durante o estresse. Essas enzimas oxidativas são indicadores de estresse hídrico para a cultura estudada.

A proteína peroxidase (POD) apresentou diferença estatística entre os tratamentos, com valores médios maiores para o milho convencional (T2), com resultados variando entre 39,60 e 52,45. Segundo Freitas et al. (2008), a POD é do grupo das oxidoreduases, sendo capaz de catalisar um grande número de reações oxidativas em plantas usando peróxido como substrato, ou, em alguns casos, oxigênio como um acceptor de hidrogênio, processo muito importante para tentar não sofrer com o estresse hídrico.

Entre a comparação do milho transgênico (T1) e o milho convencional (T2) também houve diferença estatística para a enzima catalase (CAT), apresentando valores bem mais elevados o (T2), conforme observado na Tabela 14.

Tabela 14- Primeira análise das enzimas SOD, POD, CAT 14 dias após o início do estresse hídrico para o milho

Milho	SOD (U mg ⁻¹ de proteína)	POD (μ mol de purpurogalina min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)	CAT (μ Kat μ g ⁻¹ de proteína)
Transgênico	470,71 b	36,22 b	1,36 b
Convencional	656,50 a	53,57 a	3,19 a
CV (%)	22,43	13,44	24,69
Média	563,4	44,89	2,28
DMS	108,84	5,19	0,68

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste do Tukey a 5% de probabilidade

Quando se comparou as enzimas com os diferentes manejos de irrigação na cultura do milho, não houve diferença estatística entre os tratamentos para as enzimas (SOD e POD), porém houve diferença estatística para a enzima (CAT), dados observados na Tabela 15.

Apesar de não apresentar diferença significativa, o tratamento com 50% de depleção (T4) foi o que obteve maiores resultados das atividades da enzima SOD.

Resultados de Groden e Beck (1979), observaram que a produção de altas concentrações de H_2O_2 , em resposta ao estresse, pode induzir à liberação de peroxidases nas membranas, as quais estas enzimas estão geralmente associadas, como observado em cloroplastos de espinafre.

Tabela 15- Primeira análise das enzimas SOD, POD, CAT 14 dias após o início do estresse hídrico para à água.

Depleção	SOD (U mg ⁻¹ de proteína)	POD (μ mol de purpurogalina min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)	CAT (μ Kat μ g ⁻¹ de proteína)
20%	557,23 ab	47,11 a	1,51 b
30%	444,56 ab	43,79 a	1,50 b
40%	604,63 ab	46,19 a	2,85 a
50%	651,01 a	42,49 a	3,26 a
CV (%)	22,43	13,44	24,69
Média	563,4	44,89	2,28
DMS	207,45	9,91	1,29

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste do Tukey a 5% de probabilidade

Após quarenta dias de estresse hídrico, ou seja, quarenta dias de diferentes manejos de irrigação na cultura do milho, a quantidade das enzimas SOD para o milho transgênico e milho convencional aumentaram em relação a primeira análise feita aos quatorze dias iniciais de estresse. Pode-se notar um crescente valor médio da enzima SOD, onde houve novamente diferença estatística entre os tratamentos, com maiores atividades da enzima SOD para o milho convencional. Resultados diferentes foram encontrados por Amaro (2011), pois observou que na primeira coleta de plantas de pepino não enxertadas tratadas com a mistura de fungicidas apresentaram incremento na atividade do sistema antioxidativo no início da produção dos frutos, agindo como protetores contra o estresse, pois apresentaram as maiores atividades de SOD, o que gera um menor nível de peroxidação de lipídios, ou seja, menor estresse e conseqüentemente podendo se desenvolver melhor, porém nas demais coletas das enzimas, ocorreu diminuição da atividade das enzimas antioxidativas.

Tabela 16- Segunda análise das enzimas SOD, POD, CAT 40 dias após o início do estresse hídrico para o milho.

Milho	SOD (U mg ⁻¹ de proteína)	POD(μmol de purpurogalina min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)	CAT (μKat μg ⁻¹ de proteína)
Transgênico	501,92 b	39,56 b	2,14 b
Convencional	986,12 a	62,90 a	3,08 a
CV (%)	31,55	11,38	21,48
Média	744,01	51,23	2,61
DMS	202,18	5,02	0,48

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste do Tukey a 5% de probabilidade

A enzima POD apresentou diferença significativa entre os tratamentos, onde nota-se um pequeno aumento no milho transgênico (T1) entre as duas análises feitas. Na primeira leitura a atividade era de 36,22 e passou para a outra análise com um valor de 39,59. Entretanto o milho convencional (T2) apresentou um maior incremento entre as duas análises, a primeira leitura demonstrou valores médios de 53,57 e a segunda análise apresentou resultados médios de 62,90. Esse aumento da atividade da POD em plantas submetidas a condição de estresse hídrico pode ser um fator melhor adaptação da planta ao ambiente, até mesmo, podendo ser estudado como um marcador bioquímico. Amaro (2011), observou a relação da atividade da POD, e mostrou comportamento similar ao presente estudo, pois na segunda coleta a atividade da POD estava mais alta que a primeira coleta. Resultados de Piza et al. (2003), observaram também um aumento da enzima peroxidase (POD) em plantas submetidas a condições de estresse salino em abacaxizeiro micropropagadas até o vigésimo nono dia, esse aumento foi maior de acordo com maiores concentrações de NaCl. No entanto, no mesmo estudo de Piza et al. (2003) após 30 dias, houve um decréscimo na peroxidase em todos os níveis de salinidade.

Entre a comparação do milho transgênico (T1) e o milho convencional (T1) houve diferença estatística para a enzima catalase (CAT) na segunda análise, conforme observado na Tabela 16. Nota-se que para o milho convencional (T2), tivemos uma pequena queda na atividade de enzima CAT, mas isso não trouxe prejuízos para o sistema antioxidativo. Resultados semelhantes quando comparado ao milho convencional (T2) foram

encontrados por Amaro (2011), pois a CAT apresentou menores resultados do que da primeira coleta, mas sem prejuízos, pois os níveis de peroxidação de lipídios ficaram controlados. Porém, esses resultados de Amaro (2011) é diferente se analisar o milho transgênico (T1).

Na Tabela 17, quando comparou-se as enzimas com os diferentes manejos de irrigação na cultura do milho, houve diferença estatística entre os tratamentos para as enzimas POD e CAT, mas as enzimas SOD não apresentaram diferença significativa.

Tabela 17- Segunda análise das enzimas SOD, POD, CAT 40 dias após o início do estresse hídrico para à água.

Depleção	SOD (U mg-1 de proteína)	POD (μ mol de purpurogalina min-1 mg-1 de proteína)	CAT (μ Kat μ g-1 de proteína)
20%	898,55 a	59,19 a	2,79 b
30%	620,25 a	55,58 a	2,13 ab
40%	853,03 a	39,61 b	1,57 c
50%	604,22 a	50,55 a	3,96 a
CV (%)	31,55	11,38	21,48
Média	744,01	51,23	2,61
DMS	385,34	9,57	0,93

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste do Tukey a 5% de probabilidade

As enzimas SOD nos diferentes tratamentos apresentaram crescente atividade das enzimas em relação a primeira análise, mas não diferiram estatisticamente, os valores podem ser observados na Tabela 17.

A enzima POD nos diferentes tratamentos apresentaram crescente atividade das enzimas em relação a primeira análise para os tratamento com 20% (T1), 30% (T2) e 50% (T4) de depleção, porém o tratamento com 40% (T3) de depleção apresentou uma queda na atividade enzimática, e esse tratamento (T3) diferenciou estatisticamente dos outros tratamentos, os valores podem ser observados na Tabela 17. Amaro (2011), com relação à atividade da POD, mostraram comportamento similar ao presente estudo, pois na segunda coleta a atividade da POD estava mais alta que a primeira coleta. Resultados de Lima et al. (1998), observaram aumento de peroxidase em calos de arroz submetidos à estresse salino de forma que aumentava de acordo com a intensidade do estresse salino.

A enzima CAT manteve na segunda análise diferença estatística entre os tratamentos, assim como na primeira análise. Destaque para o tratamento com 50% (T4) de depleção, mostrando que conforme maior a intensidade do estresse hídrico, maior é a atividade enzimática.

4.6- Irga

As leituras com o Irga foram feitas duas vezes, na primeira vez, foi realizada vinte dias após o início do estresse hídrico e foi analisada as variáveis fotossíntese, condutância estomática e a transpiração, os valores podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18- Primeira leitura do Irga 20 dias após o início do estresse hídrico para o milho.

Milho	Fotossíntese (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Condutância Estomática (gs, mol m ⁻² s ⁻¹)	Transpiração (E, mmol m ⁻² s ⁻¹)
Transgênico	15,1 a	0,09 a	2,3 a
Convencional	13,9 a	0,09 a	2,2 a
CV (%)	15,65	24,19	10,6
Média	14,5	0,09	2,25
DMS	1,95	0,02	0,59

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade

A variável fotossíntese não apresentou diferença estatística quando comparado o milho transgênico e o milho convencional, mas o milho transgênico apresentou uma maior capacidade de realizar a fotossíntese, os valores médios variaram entre 13,9 a 15,1. A fotossíntese é um processo essencial à sobrevivência das plantas e, para que sejam ainda mais eficiente, elas desenvolveram mecanismos de fotorresposta, como, por exemplo, a movimentação dos cloroplastos para locais onde a intensidade de luz é apropriada e a abertura dos estômatos para absorver CO₂ (KAWAI et al., 2003).

A condutância estomática não apresentou diferença estatística, além disso, não apresentou diferença numérica, mostrando ter o mesmo desempenho o material transgênico e o material convencional para a variável de condutância estomática, com valores médios de 0,09. Resultados semelhantes foram observados por Magalhães et al. (2009), onde a condutância estomática, não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre as

linhagens de milho estudada. A luz é um dos fatores mais importantes no processo da abertura estomática, quando as plantas estão em boas condições de suprimento de água, estando ligado, portanto, a fotossíntese com a condutância estomática, vale salientar que a abertura estomática diminui conforme diminui a taxa de luminosidade, ou seja, diminui conforme diminui a fotossíntese (LARCHER, 2006). Consequentemente, a transpiração, a qual está diretamente relacionada à abertura estomática, também é influenciada, uma vez que a luz irá alterar esse mecanismo. De acordo com Paiva et al. (2005), o controle estomático é importante propriedade fisiológica por meio da qual as plantas limitam a perda de água, ocasionando reduções na condutância estomática e, geralmente, reduzindo as trocas gasosas como forma de resposta das plantas a diversos fatores, incluindo o estresse hídrico.

A variável transpiração, também não demonstrou diferença estatística entre os tratamentos, milho transgênico (T1) e o milho convencional (T2). Magalhães et al., (2009), observaram também que, a transpiração no ambiente estressado e irrigado não resultaram em diferenças entre as linhagens de milho. Durante a transpiração é muito importante a presença dos poros estomáticos, pois permitem a perda de vapor de água para a atmosfera e a entrada de CO₂, através da fixação fotossintética do carbono (VAVASSEUR; RAGHAVENDRA, 2005).

Na Tabela 19, a variável fotossíntese apresentou diferença significativa quando comparado os quatro regimes de estresse hídrico, onde o tratamento com 20% de depleção (T1) apresentou os melhores resultados, seguido do tratamento com 30% (T2), seguido pelos 40% (T3) e 50% (T4), respectivamente. O tratamento com 20% de depleção (T1) diferiu estatisticamente de todos os outros tratamentos, apresentando uma capacidade muito mais alta que todos de realizar a fotossíntese. Resultados semelhantes foram observados por (SALA; TENHUNEM, 1996), onde comentaram que os períodos de deficit hídrico levaram a limitações na fotossíntese. Em estudo de Calbo e Moraes (1997), a fotossíntese começa a diminuir com 16 dias após a interrupção da irrigação e permaneceu cerca de 89% da fotossíntese do controle. Aos 29 dias houve uma queda acentuada da fotossíntese nas plantas estressadas, com valores de 2,0 m mol m⁻²s⁻¹, enquanto as plantas do controle continuaram com valores médios, ao redor de 5,5 m mol m⁻² s⁻¹.

Tabela 19- Primeira leitura do Irga 20 dias após o início do estresse hídrico para à água.

Depleção	Fotossíntese (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Condutância Estomática (gs, mol m ⁻² s ⁻¹)	Transpiração (E, mmol m ⁻² s ⁻¹)
20%	27,2 a	0,19 a	4,06 a
30%	21,9 b	0,15 b	3,56 a
40%	4,7 c	0,02 c	0,70 b
50%	4,1 c	0,02 c	0,70 b
CV (%)	15,65	24,19	10,6
Média	14,5	0,09	2,25
DMS	3,72	0,04	1,13

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade

As plantas enfrentam demandas competitivas ao absorver CO₂ da atmosfera para realização da fotossíntese enquanto limitam a perda de água. Comprovando isso, Mc Dermitt (1990), citou que as plantas, ao absorverem CO₂ para a fotossíntese, inevitavelmente, perdem água pelas folhas. Essa perda de água ocorre principalmente através dos estômatos, que apresentam mecanismos para controlar o seu grau de abertura, esse controle é atribuído à condutância estomática foliar, que é freqüentemente utilizada como indicador da deficiência hídrica. Pode-se dizer, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos. De acordo com Taiz e Zeiger (2009), as plantas não podem impedir a difusão de água da folha para a atmosfera sem, ao mesmo tempo a excluir a entrada de CO₂ na folha. A resposta mais comum ao déficit hídrico é o fechamento estomático, que provoca reduções na taxa de fotossíntese, pois reduz a disponibilidade de CO₂ (SANTOS *et al.*, 2009), resultados idênticos foram encontrados no presente estudo, pois conforme maior a capacidade de fotossíntese, maior era a condutância estomática, isso aconteceu em todos os tratamentos envolvendo diferentes regimes de irrigação.

A condutância estomática apresentou resultados diferentes estatisticamente, onde o tratamento com 20% de depleção (T1) apresentou a maior condutância estomática, ou seja, um melhor mecanismo regulador das entradas e saídas de CO₂ e água nas folhas. Dados os resultados, pode-se observar uma limitação na fotossíntese

com a diminuição do regime de irrigação, pois os resultados decrescem do tratamento de 20% (T1) para 30% (T2), dos 30% (T2) para 40% (T3) e do 40% (T3) para o 50% de depleção (T4), os valores foram reduzidos de 0,019 para 0,015 para 0,02 e para 0,02, respectivamente. Paiva *et al.*, (2005), observaram que o tratamento T1, com maior frequência de irrigação, apresentou maior valor de condutância estomática, provavelmente pela melhor condição hídrica da planta durante esse estágio, e no estágio R6, houve grandes variações no potencial de água no solo entre os tratamentos devido às irrigações efetuadas em dias diferenciados, em função da CAD de cada tratamento, esse estágio apresentou os maiores valores médios de condutância estomática de 726,64; 784,38; 678,67 e 440,85 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, caracterizando maior abertura dos estômatos, favorecendo a perda de água pela folha. Essa perda é mais acentuada nos tratamentos com maior reserva hídrica no solo, como verificado por Mwanamwenge *et al.* (1999), em folhas de feijão-fava. Resultados semelhantes foram observados por Sala e Tenhunem (1996), onde comentaram que os períodos de déficit hídrico levam ao fechamento estomático. Outro resultado concordante foi de Premachandra *et al.* (1992), pois observaram que com um aumento do déficit hídrico há diminuição no potencial da água na folha, no potencial osmótico e na condutância estomática. É de extrema importância saber os valores da condutância estomática, pois a condutância estomática é a principal via por onde ocorrem as trocas gasosas entre a planta e a atmosfera. Segundo Bianchi *et al.* (2007), os indicadores de condição hídrica das plantas, como a condutância estomática possui relação direta com o nível de disponibilidade de água no solo, isso foi verificado no presente estudo, pois conforme maior a quantidade de água presente no solo, maior foi a condutância estomática. Eamus e Shanahan (2013) mostraram que a resposta da condutância ao déficit de pressão de vapor depende do estado hídrico das folhas, sendo a condutância mais sensível a baixos potenciais da água. Da mesma forma, Yong *et al.* (1997) observaram queda linear da condutância estomática frente ao déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar. E por fim, Pereira *et al.* (2003) diz que a condutância foliar é o indicador fisiológico que melhor se correlaciona com a fotossíntese em diferentes condições de disponibilidade hídrica.

Na variável transpiração não houve diferença estatística entre o tratamento de 20% (T1) e 30% de depleção (T2), mas esses dois tratamentos diferiram

estaticamente dos outros dois tratamentos (T3 e T4), apresentando valores bem distintos, conforme mostrado na Tabela 19. Pode-se observar que os tratamentos com uma maior quantidade de água irrigada apresentaram uma maior transpiração do que as plantas de milho menos irrigadas. O tratamento mais irrigado (T1) apresentou valores médios de 4,06 e o tratamento menos irrigado (T4) apresentou valores médios de 0,7. Resultados de Calbo e Moraes, (1997), estudando o estresse hídrico em Buriti, observaram que a transpiração começou a diminuir após 6 dias de suspensão da irrigação e continuou ao longo do tempo. E já aos 41 dias, a transpiração de plantas não irrigadas foi apenas 10% da transpiração do controle.

A segunda leitura com o Irga foi realizada quarenta e oito dias após o início do estresse hídrico e foi analisada novamente as variáveis: fotossíntese, condutância estomática e a transpiração, os valores podem ser observados nas Tabelas 20 e 21.

A variável fotossíntese não apresentou diferença estatística quando comparado o milho transgênico (T1) e o milho convencional (T2), e novamente o milho transgênico apresentou uma maior capacidade de realizar a fotossíntese, os valores médios variaram entre 9,9 a 10,3. Pode-se observar uma diminuição numérica de 4,8 para o milho transgênico e 3,0 para o milho convencional entre as duas leituras feitas pelo IRGA. Vale salientar que durante a fotossíntese, o fotossistema II é o responsável pelo fornecimento de energia para a fotossíntese, a avaliação de sua eficiência pode tornar-se um indicador da tolerância em plantas sob estresse hídrico, fato que não ocorreu quando comparado os materiais isogênos, ou seja, o mesmo híbrido convencional e transgênico, pois não apresentaram diferença significativa.

A condutância estomática não apresentou diferença estatística, além disso, não apresentou diferença numérica novamente, mostrando ter o mesmo desempenho o material transgênico e o material convencional para a variável de condutância estomática, na leitura anterior os valores médios eram de 0,09 e na segunda leitura os valores médios caíram para 0,04. Em estudo realizado por Amaro (2011), analisando a condutância estomática, observou que as plantas de pepino enxertado indicavam uma maior abertura estomática quando comparado com o pepino sem enxertia, portanto, concluiu-se que as plantas não enxertadas aparentaram ser mais sensíveis às condições ambientais. Essa conclusão não pode

ser feito no presente estudo, pois o milho transgênico e o milho convencional se comportaram de maneira idêntica, fato comprova ser um milho isôgeno.

E por fim, a transpiração também não demonstrou diferença estatística entre o tratamento com milho transgênico (T1) e o milho convencional (T2), com os valores médios variando de 0,7 a 0,9, para o milho convencional e transgênico, respectivamente.

Tabela 20- Segunda leitura do Irga 48 dias após o início do estresse hídrico para o milho.

Milho	Fotossíntese (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Condutância Estomática (gs, mol m ⁻² s ⁻¹)	Transpiração (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Transgênico	10,3 a	0,04 a	0,9 a
Convencional	9,9 a	0,04 a	0,7 a
CV	35,63	34,63	15,04
Média	10,1	0,04	0,8
DMS	3,1	0,02	0,39

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade

Na variável fotossíntese houve diferença estatística entre os quatro regimes de irrigação, onde o tratamento com 20% de depleção (T1) apresentou os melhores resultados, seguido dos tratamentos (T2, T3 e T4), respectivamente, os valores podem ser observados na Tabela 21. O tratamento com 20% de depleção (T1) diferiu estatisticamente de todos os outros tratamentos, apresentando uma maior capacidade de realizar a fotossíntese. Concordando com esses resultados obtidos, Shao et al. (2008), observaram que as respostas fisiológicas na tolerância à seca variavam de acordo com a severidade e a duração de imposição do estresse, o estágio fenológico e até mesmo do material genético. O milho sob uma deficiência hídrica apresenta um decréscimo da fotossíntese que é devido à diminuição da condutância estomática, levando ao fechamento dos estômatos e à redução da transpiração. No presente estudo, nota-se haver um decréscimo em todos os tratamentos (T1, T2, T3 e T4), mas com maior destaque para o tratamento com 30% de depleção (T2), pois apresentava valores médios de 21,9 após vinte dias de estresse hídrico e foi para valores médios de 9,3 após

quarenta e oito dias, após o início do estresse hídrico. Porém, os valores dos tratamentos com 40% (T3) e 50% de depleção (T4) eram baixo e continuaram baixo. Magalhães et al. (2009), observaram que a taxa fotossintética não apresentavam diferenças significativas nas linhagens submetidas a deficiência hídrica, enquanto que, nas plantas sem deficiência hídrica (SD), houve predominância significativa da linhagem L 29.1.1 sobre as demais. Na média dos ambientes, houve diferença na fotossíntese, sendo que o ambiente sem estresse (SD) foi significativamente maior, corroborando com os resultados do presente estudo.

A condutância estomática apresentou resultados diferentes estatisticamente, onde o tratamento com 20% de depleção (T1) apresentou a maior condutância estomática, ou seja, um melhor mecanismo regulador das entradas e saídas de CO₂ e água nas folhas. O tratamento com 20% de depleção (T1) diferenciou significativamente dos tratamentos T2, T3 e T4, conforme observado na Tabela 21. Paiva et al. (2005), não verificaram grandes diferenças nos valores médios de condutância estomática entre o tratamento T1 e os tratamentos T2 e T3 durante o ciclo da cultura, mesmo observando-se variação no potencial de água no solo, possivelmente, as limitações hídricas impostas a esses dois tratamentos não foram suficientes para provocar grandes variações na condutância estomática, contudo, esse comportamento não foi verificado quando a limitação hídrica foi acentuada, como observado no tratamento T4. Isso indica que, quando o déficit de água no solo não é muito acentuado, as variações da condutância estomática obedecem à mesma tendência das plantas sem restrição hídrica. Resultados de Schurr et al. (1992) em girassol e Bergonci et al. (2000) com milho confirmam essa observação. Resultados semelhantes citados por Magalhães et al. (2009), observaram que para a condutância estomática, o ambiente sem deficiência hídrica (SD), na média, tinha superado o ambiente com deficiência hídrica e apresentando diferença estatística.

Na variável transpiração houve diferença estatística entre os tratamentos, onde o tratamento com 20% de depleção (T1) diferenciou estatisticamente dos outros três tratamentos (T2, T3 e T4), mas esses três tratamentos não diferiram estaticamente entre si, conforme mostrado na Tabela 21. Durante o tempo do experimento foi verificado que os tratamentos com menor quantidade de água irrigada, apresentavam folhas enroladas e as vezes até enrugadas, isso era um dos mecanismos de defesa ao estresse que a planta estava

sendo submetida. Taiz e Zeiger (2009), verificaram que as folhas das plantas com deficit hídrico apresentavam enrolamento, enrugamento e murchamento bem como movimentos heliotrópicos que alteravam a interceptação de radiação solar, buscando reduzir a temperatura da folha, para evitar perdas maiores de água pela transpiração (Taiz; Zeiger, 2009). Magalhães et al. (2009), observaram que plantas de milho sem deficiência hídrica, em especial a linhagem - L 2.3.2.1, tiveram significativamente uma transpiração maior do que as plantas de milho com deficiência, diferindo estatisticamente.

Tabela 21- Segunda leitura do Irga 48 dias após o início do estresse hídrico para à água.

Depleção	Fotossíntese (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Condutância Estomática (gs, $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Transpiração (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
20%	21,3 a	0,12 a	2,21 a
30%	9,3 b	0,02 b	0,50 b
40%	6,1 bc	0,01 b	0,29 b
50%	3,7 c	0,01 b	0,26 b
CV	35,63	34,63	15,04
Média	10,1	0,04	0,8
DMS	5,91	0,04	0,73

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade

4.7- Índice de Colheita

Os resultados de índice de colheita referente a introdução do gene da transgenia, conforme observado na Tabela 22, apresentaram valores variando de 0,40 a 0,43% entre os tratamentos para milho transgênico e convencional, respectivamente, não diferenciando estatisticamente. Apesar de não diferenciar estatisticamente, podemos dizer que o material convencional apresentou uma melhor aptidão de alocar massa seca nas estruturas de interesse econômico, no caso do milho, o grão. De acordo com Sangoi et al. (2001), estudando materiais de ciclos diferentes, observaram que os híbridos de ciclo tardio tem um fator mais limitante para a produção de grãos do que híbridos de ciclo super precoce e ciclo precoce, podendo estar relacionado com a habilidade da planta de mobilizar e armazenar produtos

fotossintetizados nos grãos e não com a capacidade da planta de produzir metabólitos. Casagrande e Filho (2002), trabalhando com adubação nitrogenada em híbridos de milho C333B e C444, obtiveram índices de colheita de 44% e de 42%, respectivamente. Estes mesmos autores citam Ulloa *et al.*, (1982) que obtiveram valores para o índice de colheita ao redor de 43% trabalhando com os híbridos C111X (precoce) e C511(tardio), e Osaki (1995), obteve entre híbridos tropicais e temperados índices de colheita que variam de 38 a 52%. Além deles, Aguiar & Moura (2003), observaram não haver diferença estatística no índice de colheita entre as variedades, observando diferença significativa apenas quando comparou-se híbridos e variedades. Por fim, Aguiar & Moura (2003), citaram que o índice de colheita alcançado pela variedade BR 473 e BR 2121 foram consideradas alto para uma variedade, principalmente se comparada com a também variedade BR 106, embora os índices de colheita dessas duas cultivares não diferiram estatisticamente.

Portanto observamos que, apesar do estresse hídrico do presente estudo, os materiais apresentaram bons valores referentes ao índice de colheita.

Tabela 22- Índice de colheita em relação ao milho.

Milho	Índice de Colheita (%)
Transgênico	0,40 a
Convencional	0,43 a
CV (%)	13,76
Média	0,415
DMS	0,04

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na variável índice de colheita, observada na Tabela 23, houve diferença estatística quando comparado os quatro diferentes regimes de estresse hídrico. O tratamento com 20% de depleção (T1) foi o tratamento com os melhores índices de colheita, com valores médio de 0,5%, diferenciando estatisticamente dos tratamentos com 40% (T3) e 50% (T4) de depleção, os menores resultados foram encontrados no tratamento (T4) que foi submetido ao maior nível de estresse hídrico, comprovando a importância da água para melhorar o acúmulo da massa seca nos grãos. Soares (2010), observou os índices de colheita variando de 0.49 a 0.53% para o híbrido BM 1201 e de 0.46 a 0.48% para o híbrido BRS

3150, onde o maior valor de índice de colheita ocorreu na estratégia de irrigação de 100% de reposição da evaporação do Tanque Classe A.

Pode-se notar uma relação entre o índice de colheita e a produtividade no presente estudo. Conforme foi aumentado o estresse hídrico, os materiais apresentaram uma queda de produtividade e um menor índice de colheita, ou seja, o tratamento com 20% de depleção (T1) foi o tratamento com o estresse hídrico menos severo, portanto, apresentou o maior índice de colheita, já o tratamento com 50% de depleção (T4) foi o tratamento com o maior estresse hídrico, portanto, apresentou o menor índice de colheita. Resultados semelhantes foram encontrados por Aguiar e Moura (2003) que, estudando as cultivares BR 2121 e Ferro, conclui ser materiais pouco produtivos, podendo ser pela inadaptabilidade às condições do experimento, expressa pela baixa produção biológica ou também em função do baixo índice de colheita, resultado de sua característica de cultivar não melhorada.

Tabela 23- Índice de colheita em relação a água.

Depleção	Índice de Colheita (%)
20%	0,5 a
30%	0,44 ab
40%	0,42 b
50%	0,3 c
CV (%)	13,76
Média	0,415
DMS	0,07

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

5- CONCLUSÕES

Comportamento semelhante dos materiais isogênicos testados frente aos estresses promovidos.

O fator água é de extrema importância para o desenvolvimento e produção do milho, pois de acordo com a intensidade de estresse, observou-se uma enorme perda de produtividade.

Além disso, o fator água foi importante e variou para a taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração, índice de colheita e atividades enzimáticas, sendo sempre o tratamento com maior quantidade de água aplicada, ou seja, menor estresse hídrico, apresentando os melhores resultados.

Conclui-se que é inevitável um manejo adequado, focando a melhor utilização dos recursos hídricos, possibilitando explorar o máximo potencial da cultura do milho.

6- REFERÊNCIAS

AGROW - **BIOTECH NEWS**. Disponível em: <<http://www.agrow.co.uk/subscribe/>> Acesso em: 27 de novembro de 2011.

AGUIAR, A. C. F.; MOURA, E. G. Crescimento e produtividade de duas cultivares de milho de alta qualidade protéica em solo de baixa fertilidade. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 429-435, 2003.

ALMEIDA, A. C. L. **Deteção, caracterização e aspectos epidemiológicos do complexo viral do mosaico comum do milho (*Zea mays* L.)**, 1999. 83 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

AMARO, A. C. E. Efeitos fisiológicos de fungicidas no desenvolvimento de plantas de pepino japonês enxertadas e não enxertadas, cultivadas em ambiente protegido, **2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Horticultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.**

ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotylus of maize seedlings. **Plant Physiology**, v.109, p.1247-1257, 1995 .

ARAÚJO, P. M. **Variabilidade genética em subpopulações de milho (*Zea mays* L.) obtidas por seleção divergente**, 1992. 153f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

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

ARMSTRONG, C. L. et al. Field evaluation of European corn borer control in progeny of 173 transgenic corn events expressing an insecticidal protein from *Bacillus thuringiensis*. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 550-557. 1995.

ASH, C.; JASNY, B. R.; MALAKOFF, D. A.; SUGDEN, A. S. Feeding the future. **Science**, v. 327, p. 797, 2010.

BASILLI, J. F. M.; CRUZ, M. G.; REIS, V. F.; CALAFIORI, M. H.; ANDRADE, R. C. Efeito da adubação e do cruiser (tiametoxam) no desenvolvimento do milho (*zea mays* l.), e no controle de lagarta-do-cartucho, (*spodoptera frugiperda*). **XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA**, 24 a 29 de agosto de 2008, Uberlândia, MG - Manejo integrado de pragas, 2008.

BEAUCHAMP, C. & FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry** v.44, p.276-287, 1971.

BECKER, T. W & FOCK, H. P. The activity of nitrate reductase and pool sizes of some amino acids and some sugar in water-stressed maize leaves. **Photosynthese Tes.**, v.8, p.267-274, 1986.

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.; WHEELER, T. R.; CHALLINOR, A. J.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 603-613, 2007.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.949-956, 2001.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 8. Ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BEZERRA, L. L.; FILHO, J. H. S.; FERNANDES, D.; ANDRADE, R.; MADALENA, J. A. S. Avaliação da aplicação de biofertilizante na cultura do milho: crescimento e produção. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável grupo verde de agricultura alternativa** (Mossoró – RN – Brasil) v. 3, n. 3, p. 131-139, 2008.

BIANCHI, C. A. M. **Avaliação de indicadores da condição hídrica em milho sob diferentes níveis de água, em semeadura direta e convencional**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BIANCHI, C. A. M.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 315-322, 2007.

BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, London, v. 91, n. 2, p. 179-194, 2003.

BORTOLOTO, V & SILVA, T. R. B. Avaliação do desenvolvimento de milho convencional e milho Bt. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.2, n.3, p.89-95, 2009.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trend in Plant Science**, London, v. 2, n. 2, p. 48-54, 1997.

CADORE, T. **Potencial de Genitores para o Melhoramento de Milho (*Zea mays*)**, 2008. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia) – Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Unochapecó, Chapecó, 2008.

CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 9(2):117-123, 1997.

CARVALHO, I. Q. **Espaçamento entre fileiras e população de plantas de milho, 2007**. 117 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR, 2007.

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

CASTRO, A. M. G.; LIMA S. M. V.; LOPES, M. A.; MACHADO, M. S.; MARTINS, M. A. G. (2006). **O futuro do melhoramento genético vegetal no Brasil: impactos da biotecnologia e das leis de proteção de conhecimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 506 p, 2006.

CASTRO, C.R.; GARCIA, R. Competição entre plantas com ênfase no recurso luz. *Ciência Rural*, v.26, p.167-174, 1996.

CHANG, C. J.; KAO, C. H. H₂O₂ metabolism during senescence of rice leaves: changes in enzyme activities in light and darkness. **Plant Growth Regulators**, v. 25, p. 11-15, 1998.

CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany** 42: 1-16, 1991.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; Ricardo, C. P. P.; Osório, M. L. How plants cope with stress in the field: photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 907-16, 2002.

CHEN, C.; KAO, C. H. Osmotic stress and water stress have opposite effects on putrescine and praline production in excised rice leaves. **Plant Growth Regulation**, v.13, p.197-202, 1993.

CORREIA, G. K.; NOGUEIRA, C. M. J. R. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogae* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, n.2, v.4, 2004.

COSTA, S. V. **Desenvolvimento e calibração de um mini-tanque evaporimétrico**. 2004. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R.; ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. J.; WILLIAMS, J. H. Effect of temperature and water deficit on water-use efficiency, carbon isotope discrimination, and specific leaf area in peanut. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 1, p. 136-142, 1999.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2005/06. Sete Lagoas: **EMBRAPA-CNPMS**, 2007.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SILVA, G. H. **Mais de 170 cultivares transgênicas são disponibilizadas no mercado de sementes do Brasil para a safra 2011/12**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2011. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>. Acesso em: 05 dez 2011.

EAMUS, D.; SHANAHAN, S. T. **A rate equation model of stomatal responses to vapour pressure deficit and drought**. BMC Ecology, v.2, n.8. Acessado em 28 jan. 2013. On line. Disponível em: www.biomedcentral.com/1472-6785/2/8.

EARL, H. J.; DAVIS, R. F. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. **Agronomy Journal**, v.95, p.688-696, 2003

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA - . **Sistema de produção de milho**. Set.2008. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economia.htm>. Acesso em:15 de Janeiro de 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – **Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**: Recomendações técnicas para o cultivo do sorgo. 3 ed. Rev. atualiz.. Sete Lagoas: [s.n], 2002. 79 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular técnica, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm. Acesso em: 04 dez 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA- **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-CNPS, 1999. 412p

FERREIRA, M. G. P.; BRITO, M. E. B.; COSTA, F. B.; FILHO, G. D. A.; ALVINO, F. C. G. Aspectos químicos e físicos dos grãos de milho doce sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agrotecnologia (Pombal - PB)**, v. 1, n. 1, p. 01-06, jan-dez, 2011.

FIALHO, C. M. T.; SILVA, G. S.; FAUSTINO, L. A.; BENEVENUTE, S. S.; FARIA, A. T.; SILVA, A. A. Desenvolvimento inicial do milho sob interferência de plantas daninhas com e sem contato do sistema radicular. **XXVIII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas**, 3 a 6 de setembro de 2012, Campo Grande, MS / Área 5 - Manejo integrado de plantas daninhas em culturas alimentícia, 2012.

FIGUERÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMAKUBURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Miracrodruon urundeuva* Allemão (*Anacardiaceae*) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasileira** 18(4): 573-580. 2004.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; CARBÓ, M. R. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, v. 127, p. 343-352, 2006.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T.D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v.6, p.269-279, 2004.

FLOSS, E.M. **Fisiologia das Plantas Cultivadas: O Estudo que está por trás do que se vê**. 2.ed. Passo Fundo: Universitária, 2004. 536 p.

FREITAS, A. A.; FRANCELIN, M. F.; HIRATA, G. F.; CLEMENTE, E.; SCHMIDT, F. L. Atividades das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) nas uvas das cultivares benitaka e rubi e em seus sucos e geléias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, 28(1): 172-177, 2008.

FUMIS, T. F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 449-459, 2002.

FUNKHOUSER, E. A.; CAIRNEY, J.; CHANG, S.; DIAS, M. A. D. L.; NEWTON, R. J. 1994. Cellular and molecular responses to water deficits stress in woody plants. **In Handbook of plant and crop stress (M. Pessaralaki, ed.)**. Marcel Dekker Inc., New York, p. 347-362.

GALLINA, E. **Análise comparativa em milho (*zea mays* L.) em relação ao rendimento e incidência de grãos ardidos**. 2010. Monografia (trabalho de conclusão de curso de agronomia) Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Unochapecó, Chapecó, 2010.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309 - 314, 1977.

GOGORCENA, Y.; ORMAETXE, I. I.; ESCUREDO, P. R.; BECANA, M. Antioxidant defenses against activated oxygen in pea nodules subjected to water stress. **Plant Physiology**, v.108, p.753-759, 1995.

GONG H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Sci.*, 169:313-321, 2005.

GRODEN, D.; BECK, E. H₂O₂ destruction by ascorbate-dependent systems from chloroplasts. **Biochemistry Biophysics Acta**, v. 546, p. 426-435, 1979.

GUIMARAES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) a seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n. 1, p. 70-75, 2006.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Physiologia Plantarum**, v.84, p.450-455, 1987.

ISAAA – International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, 2011. Disponível em: <<http://www.isaaa.org>>. Acesso em: 10 de novembro de 2011.

JAMES, C. **Biotech corn can boost yields to help growing world food demands**. Ithaca.NY: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application, 2003.

JAMES, C. **Global status of commercialized transgenic crops**. Ithaca.NY: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application, 2003.

KAWAI, H.; KANEGAE, T.; CHRISTENSEN, S.; KIYOSUE, T.; SATO, Y.; IMAIZUMI, T.; KADOTA, A.; WADA, M. Responses of ferns to red light are mediate by an unconventional photoreceptor. **Nature**, London, v. 421, p. 287-290, 2003.

KELLING, C.R.S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**, 1995. 91p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of Glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 43-49, 2008.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1511-1520, 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Brasil: E. Rima, 2000. 530p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 550p.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v.36, p.331-335, 1996.

LENHARD, N. R. **Crescimento inicial de mudas de (*Caesalpinia férrea* ex. Tul. var. *Leiostachya* (pau ferro) sob diferentes regimes hídricos e sombreamento**, 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Dourados, Dourados,MS, 2008.

LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M.; Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 66, p. 341-346, 2009.

LIMA, G. P. P.; BROETTO, F.; BRASIL, O. G. Efeito da salinidade sobre o teor de proteínas e atividades da peroxidase e redutase de nitrato em calos de arroz. **Acta Biologica Leopoldensia**, v. 20, p. 357-363, 1998.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, v.2, 1994. 168p.

LUPATINI, G. C.; MACCARI, M.; ZANETTE, S.; PIACENTINI, E.; NEUMANN, M. Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho (*zea mays*, l.) para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.2, p.193-203, 2004.

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. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. 23 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 22).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 20).

MAIA, P. S. P.; NETO, C. F. O.; CASTRO, D. S.; FREITAS, J. M. N.; LOBATO, A. K. S.; COSTA, R. C. L. Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 918-920. 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, E.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas (princípios e aplicações)**. 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MARTINS, J. D.; CARLESSO, R.; KNIES, A. E.; OLIVEIRA, Z. B.; BROETTO, T.; RODRIGUES, G. J. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 3, p. 324-334, julho-setembro 2010.

MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul**. 1994. 172p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MATZENAUER, R.; BEGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.3, p.85-92, 1995.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MALUF, J. R. T.; BARNI, N. A.; BUENO, A. C.; DIDONÉ, I. A.; ANJOS, C. S.; MACHADO, F. A.; SAMPAIO, M. R. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.1, p.225-241, 1995.

McCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. *Crop Science*, Madison, v.29, p.353-360, 1989.

MEDEIROS, S. L. P.; WESTPHALEN, S. L.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Relação entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.1-10, 1991.

MEDICI, L. O.; AZEVEDO, R. A.; CANELLAS, L.P.; MACHADO, A.T.; PIMENTEL, C. Stomatal conductance of maize under water and nitrogen deficits. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 599-601, 2007.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 7, p. 405-410, 2002.

MONTEIRO, F. C. **Produtividade de matéria seca, estrutura e composição químico-bromatológica de estilosantes campo grande sob diferentes teores de água no solo**, 2009. 56 f. Dissertação (Ciência Animal), Teresina, 2009.

MORIZET, J.; TOGOLA, D. Effect et arrière-effect de la sécheresse sur la croissance de plusieurs génotypes de maïs. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE, 1984, Versailles. **Les besoins en eau des cultures**. Paris: Inra, 1984. p.351-360.

MOTA, P. R. D. A. **Aplicação via fertirrigação de soluções com diferentes condutividades elétricas para produção de gérbera (*Gerbera jamesonii* L.) sob ambiente protegido**, 2007. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

MOULIA, B. Leaves as shell structures: double curvature, autostresses, and minimal mechanical energy constraints on leaf rolling in grasses. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.19, p.19-30, 2000.

MOURA, E. G. de; TEIXEIRA, A. P. R.; RIBEIRO, V. S.; AGUIAR, A. das C. F.; FARIAS, M. F. de. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.) submetido a vários intervalos de irrigação na região da Pré-Amazônia. **Irriga**, Piracicaba, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2006.

NAKANO, Y.; ASSADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v.22, p.867-880, 1981.

NI, H.; MOODY, K.; ROBLES, R.P. *Oryza sativa* plant traits conferring ability against weeds. **Weed Science**, v.48, p.200-204, 2000.

NIU, S. L.; JIANG, G. M.; LI, Y. G.; GAO, L. M.; LIU, M. Z. Diurnal gas exchange and superior resources use efficiency of typical C4 species in Hunshandak Sandland, China. **Photosynthetica**, v. 41, n. 2, p. 221-226, 2003.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; NETO, E. B. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relação hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.66-74, 2001.

NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. 1995. The ecology of tropical food crops. **Cambridge University Press**. Cambridge, 1995.

OSAKI, M. Comparison of productivity between tropical and temperate maize. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, n. 3, p. 439-450, 1995.

OTIENO, D. O.; BESSON, C. K.; LIU, J.; SCHMIDT, M. W. T.; LOBO, R. V.; DAVID, T. S.; SIEGWOLF, R.; PEREIRA, S.; TENHUNEN, J. D. Seasonal variations in soil and plant water status in a *Quercus suber* L. Stand: roots as determinants of tree productivity and survival in the Mediterranean-type ecosystem. **Plant Soil**, v. 283, p. 119-135, 2006.

PAIVA, A. S. de. **Disponibilidade hídrica na germinação de sementes e no crescimento de plântulas da leguminosa forrageira *Macrotyloma axillare* (E. Mey) Verdc. cv Java**. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP. 2007.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PASSIOURA, J. B. The yield of crops in relation to drought. In: BOOTE, K. J.; BENNETT, J. M.; SINCLAIR, T. R.; PAULSEN, G. M. (Ed.). **Physiology and determination of crop**

yield. Madison : American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, 1994. p. 343-359.

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

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. E.; GIROTTO, C. A. E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.358-364, 2008.

PEREIRA, E. A.; LEAL, J. P. G.; HUSSNE, R. D. **Impactos econômicos das culturas geneticamente modificadas no Brasil.** São Paulo: Edgard Pereira & Associados, 2007.

PEREIRA, P. G.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G.; FRANÇA, S. Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico na fotossíntese e condutância foliar em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 53-62, 2003.

PICANÇO, M. C.; SEMEÃO, A. A.; GALVÃO, J. C. C; SILVA, E. M.; BARROS, E. C. Fatores de perdas em cultivares de milho safrinha. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.26, n.2, p.161-167, 2004.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 13. ed. Piracicaba, Nobel, 1991. 468p.

PIMENTEL, C; PEREZ, A. J. de L. C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.31-39, 2000.

PINTO, C. de M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. 2006. 80 f. Dissertação de Mestrado. UFC, Fortaleza, CE, 2006.

PIONEER. **Transgênicos alcançam o posto de carro-chefe na agricultura**. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/default.aspx?page=AtualidadesNoticiasDetalhe&id=12674>. Acesso em: 27 fev. 2013.

PIZA, I. M. T.; LIMA, G. P. P.; BRASIL, O. G. Atividade de peroxidase e níveis de proteínas em plantas de abacaxizeiro micropropagadas em meio salino. **Revista brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 361-366, 2003.

PREMACHANDRA, G. S.; SANEOKA, H.; FUJITA, K.; OGATA, S. Osmotic adjustment and stomatal response to water deficits in maize. **Journal of Experimental Botany**, v.43, p.1451-1456, 1992.

QUEIROZ, T. M. de. **Desenvolvimento de um sistema automático para irrigação de precisão em pivô central**. 2007. 142 f. Tese (Doutor em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p. 39. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.(Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RESENDE, M. L. V.; SALGADO, S. M. L.; CHAVES, Z. M. Espécies ativas de oxigênio na resposta de defesa de plantas à patógenos. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v. 28, n. 2, p. 123-130, 2003.

RIQUETTI, N. B. **Efeito do manejo de solo nos parâmetros agronômicos e energéticos de híbridos de milho transgênico e não transgênico**, 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

SAHA, S.; STRAZISAR, T. M.; MENGES, E. S.; ELLSWORTH, P.; STERNBERG, L. Linking the patterns in soil moisture to leaf water potential, stomatal conductance, growth, and mortality of dominant shrubs in the Florida scrub ecosystem. **Plant Soil**, v. 313, p. 113–127, 2008.

SALA, A.; TENHUNEN, J. D. Simulation of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex L.* under the influence of seasonal drought. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 18, p. 203-222, 1996.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; 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.

SANTIAGO, A. M. P. **Aspectos do crescimento do sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) em função da disponibilidade de água no solo**. 2000. 64 f. Dissertação de mestrado em Botânica-UFRPE, Recife.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit. **Biologia Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; OLIVEIRA, R. F.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. - **Plant Science**. v. 170, p. 659-664, 2006.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; OLIVEIRA, R. F.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Gas exchange and yield response to foliar phosphorus supplying in *Phaseolus vulgaris* under drought. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, p. 171-179, 2004.

SANTOS, M. X.; ANDRADE, C. L. T.; OLIVEIRA, A. C.; LEITE, C. E. P.; CARVALHO, H. W. L.; GAMA, E. E. G.; PACHECO, C. A. P.; GUIMARÃES, P. E. O.; PARENTONI, S. N. Comportamento de híbridos de milho selecionados e não selecionados para ASI sob estresse de água no florescimento e enchimento de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.2, p.71-81, 2003.

SANTOS, P. G.; JULIATTI, F. C.; BUIATTI, A. L. *et al.* Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho em Uberlândia, Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 597-602, 2002.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1998.

SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Evolução dos cultivares de milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologia de produção do milho**. 20 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v.1, p.13-53, 2004.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 38, n. 7, p. 995-1014, 2005.

SCHULZE, E. D. Whole-plant responses to drought. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, p.127-141, 1986.

SCHUSSLER, R. J.; WESTGATE, M. E. Maize kernel set at low potential. I. Sensivity to reduced assimilates during early kernel growth. **Crop Science**, v.31, p.1189-1195, 1991.

SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.

SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A. E.; LI, J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal Plant Physiology**, v.167(15), p.1248-1252, 2010.

SHEVYAKOVA, N.I. Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress. **Soviet Plant Physiologi**, v.30, p.597-608, 1984.

SILVA, L. Safrinha o solo, lucro à vista na mão. O Brasil agrícola. **A Granja**. Porto Alegre-RS, N 723, p16-19, mar. 2009.

SILVA, R. G.; MIRANDA, G. V.; CRUZ, C. D.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, D. G. Estimativas de parâmetros genéticos da produção de grãos das populações de milho UFVM 100 e UFVM 200, submetidas a déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, n.1, p. 57-67, 2008.

SINGH, T. N.; ASPINALL, D.; PALEG, L. BOGGESS, S. F. Changes in praline concentration in excised plant tissues. **Australian Journal Biological Science**, v. 26, p.57-63, 1973.

SOARES, F. C.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; PARIZI, A. R. C. ; RAMÃO, C. J. ; VIVAN, G. A. Resposta da produtividade de híbridos de milho cultivado em diferentes estratégias de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 36 - 50, janeiro-março, 2010.

SOARES, F. C.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; VIVAN, G. A.; PARIZI, A. R. C. Resposta Da Cultura Do Milho À Variabilidade Hídrica Em Solo Sob Pivô Central. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 220 - 233, abril-junho, 2012.

SOUZA, A. C.; CARVALHO, J. G.; PINHO, R. G. V.; CARVALHO, M. L. M. Parcelamento e época de aplicação de nitrogênio e seus efeitos em características agrônômicas do milho. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.25, n.2, p.321-329, 2001.

SOUZA, G. M.; CARDOSO, V. J. M. Toward a hierarchical concept of plant stress. **Israel Journal of Plant Sciences**, Jerusalem, v. 51, p. 29-37, 2003.

SPERRY, J. S. Hydraulic constraints on plant gas exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.104, n.1 p.13-23, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: E.Atmed, 2009.819 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

TAKEDA, S.; MATSUO KA, M. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. **Nature Reviews Genetics**, v.9, p.444-57, 2008.

TRIGO, E. J; CAP, E. J. The impact of the introduction of transgenic crops in argentinean agriculture. **AgBioForum**, v.6, n.3, p.87-94, 2003.

TSUNECHIRO, A.; FERREIRA, C. R. R. P. T. Fontes de crescimento da produção de milho safrinha no Brasil, 1992 – 2005. **In: Anais do 8º Seminário Nacional de Milho Safrinha**, Campinas: Instituto Agrônômico, p.401-405, 2005.

ULLOA, A. M. C.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 66 p, 1982.

VAVASSEUR, A.; RAGHAVENDRA, A. S. Guard cell metabolism and CO₂ sensing. **New Phytologist**, Cambridge, v. 165, n. 3, p. 665-682, 2005.

VIEIRA, S. R.; CASTRO, O.M. de. Determinação de curvas de retenção de água com tensiômetros em anéis indeformados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.87-90, 1987.

WARREN, C. R., LIVINGSTON, N. J., TURPIN, D. H. Water stress decreases the transfer conductance of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings. **Tree Physiol**, v. 24, p. 971–979, 2004.

WELCKER, C.; BOUSSUGE, B.; BENCIVENNI, C.; RIBAUT, M.; TARDIEU, F. Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit?: A QTL study of the responses of leaf growth and of Anthesis-Silking Interval to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 58, p. 339-349, 2007.

WERLE, A. J. K. **Avaliação dialética de linhagens elites e híbridos de milho**, 2011. 70f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá. 2011.

WERLE, A. J. K.; NICOLAY, R. J.; SANTOS, R. F.; BORSOI, A.; SECO, D. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (Bt), com diferentes aplicações de inseticida em

cultivo safrinha. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.4, n.1, p.150 - 168, 2011.

WU, Y.; HUANG, M.; WARRINGTON, D. N. Growth and transpiration of maize and winter wheat in response to water deficits in pots and plots. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 71, p. 65–71, 2011.

YOUNG, J. W. H.; WONG, S. C.; FARQUHAR, G. D. Stomatal responses to changes in vapour pressure difference between leaf and air. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.20, p.1213-1216, 1997.

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M. E.; JONES, R. J. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. **Crop Science**, v.35, p.158-164, 1995.