**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em
ambiente protegido**

Bruno Marçal de Almeida

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2016**

Bruno Marçal de Almeida
Tecnólogo em Irrigação e Drenagem

Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Almeida, Bruno Marçal de

Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido /
Bruno Marçal de Almeida. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de
2011. - - Piracicaba, 2016.

124 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Déficit hídrico 2. Excesso hídrico 3. Milho 4. Potencial hídrico foliar 5. Manejo de
irrigação I. Título

CDD 633.15
A447d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus queridos pais Ana Maria Marçal de Araújo Almeida e José Rosenilson de Almeida e a minha amada irmã Carolina Marçal de Almeida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por toda minha educação, carinho e suporte dado em toda minha vida e pela formação da pessoa que sou hoje.

A minha querida e amada irmã, uma segunda mãe, pelas palavras de apoio; sempre do meu lado em todas as situações.

A todos os meus familiares, em especial à minhas duas avós que sempre estão presentes na minha vida apesar da distancia

Ao meu orientador José Antônio Frizzone, pela orientação, um exemplo de profissional, sempre atento a qualquer dúvida.

Ao professor Sérgio Nascimento Duarte, pela amizade e ensinamentos em sala de aula, será sempre uma inspiração de como repassar o conhecimento.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) pela oportunidade de aprendizado e crescimento profissional

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, em especial à, Davilmar Aparecida D. Colevatti e Angela Márcia Derigi Silva, duas maestras do departamento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante o período

Aos todos os professores do Departamento de Engenharia de Biossistemas, pelos ensinamentos e orientação no dia a dia

Aos amigos Jefferson Vieira José e Livia Previatello, pessoas ímpares que tive o prazer de conviver nesse período de pós-graduação

Aos amigos de priscas eras de pesquisa, Edmilson Gomes Cavalcante, Dirceu Arraes e Ítalo Nunes que são sempre presentes em minha vida acadêmica

A todos os colegas de departamento, Rafael Dreux e Ricardo Gava (irmão de orientação), Conan, Acácio, Hermes, Daniel Leal, Fernando, Marcos, João Paulo, Lucas, Rafaelly, Ana Paula, Daniel Veloso, Isaac.

Por fim, à todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

A todos meu muito obrigado!

“Há, por exemplo, entre as mariposas, certa espécie noturna da qual as fêmeas são em número muito mais reduzido do que os machos. As mariposas se reproduzem da mesma maneira que todos os outros insetos: o macho fecunda a fêmea, e esta põe ovos. Quando se captura uma dessas fêmeas (e numerosos naturalistas já comprovaram o fato), os machos vão ao lugar onde ela se encontra prisioneira, depois de voarem vários quilômetros de distância, viajando horas e horas através da noite. Presta atenção! A vários quilômetros de distância os machos sentem a presença da única fêmea existente nas imediações. Tentou-se buscar uma explicação para o fato, mas é muito difícil de explicar. Talvez os machos tenham o sentido do olfato extraordinariamente desenvolvido, como os bons cães de caça, que conseguem achar e seguir um rastro imperceptível. Compreendes? A Natureza está cheia de fatos como este, que ninguém consegue explicar. Mas imagino que se, entre essas mariposas, as fêmeas fossem tão frequentes quanto os machos, estes talvez não tivessem um olfato tão fino. Se o têm é porque se viram na necessidade de exercitá-lo a tal ponto e a intensificar sua sensibilidade. Quando um animal ou um homem orienta toda a sua atenção e toda a sua força de vontade para determinado fim, acaba por consegui-lo”

Hermann Hesse

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Cultura do milho– aspectos gerais	23
2.2 Estresse hídrico, conceitos e importância	25
2.3 Produtividade da água.....	29
2.4 Manejo racional da água de irrigação	30
2.5 Temperatura foliar, temperatura do ar e graus-dias	31
2.6 Potencial hídrico foliar	32
2.7 Cultivo em ambiente protegido.....	33
2.8 Fases fenológicas do milho	35
2.9 Coeficiente de resposta da cultura (KY)	37
3 MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1 Localização do experimento.....	39
3.2 Características edafoclimáticas do local do experimento	39
3.3 Caracterização das unidades experimentais.....	41
3.4 Tratamentos e delineamento experimental	47
3.5 Graus dias acumulados.....	49
3.6 Cultivar utilizada	50
3.7 Potencial hídrico foliar	50
3.8 Produtividade da água	52
3.9 Colheita	52
3.10 Avaliações biométricas e componentes de produção	52
3.10.1 Altura das plantas (ALP).....	53
3.10.2 Altura de inserção da espiga (AIE)	53
3.10.3 Número de espigas por plantas (NEP).....	53
3.10.4 Peso da espiga com palha (PEP)	53
3.10.5 Peso da espiga despilhada (PES)	53

3.10.6 Número de grãos por espiga (Ngrãos)	53
3.10.7 Número de fileiras de grãos por espiga (NFG).....	53
3.10.8 Tamanho da espiga (TE)	54
3.10.9 Diâmetro da espiga (DE).....	54
3.10.10 Diâmetro do sabugo (DS)	54
3.10.11 Número de entrenós (NE)	54
3.10.12 Produtividade (PG)	54
4 COEFICIENTE DE RESPOSTA DA CULTURA AO DÉFICIT HÍDRICO (KY)	55
5 ANÁLISES DOS RESULTADOS	57
6.1 Monitoramento agrometeorológico no interior do ambiente protegido	59
6.2 Produtividade, peso da espiga com palha e peso da espiga sem palha.....	61
6.3 Altura de inserção da espiga, números de grãos e altura de planta	66
6.4 Tamanho da espiga, número de fileiras de grãos e número de entrenós	70
6.5 Diâmetro da espiga, peso do sabugo e diâmetro do sabugo.....	73
7 POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR	77
8 COEFICIENTE DE RESPOSTA DA CULTURA AO DÉFICIT HÍDRICO	88
10 CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS	100
APÊNDICE	112
ANEXOS.....	116

RESUMO

Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido

O milho é uma das culturas de grande importância no cenário agrícola mundial devido sua importante participação no setor alimentício, bem como suas exigências hídricas no decorrer do seu ciclo. Sendo assim, tornam-se importantes os estudos quanto a utilização dos recursos hídricos, onde as estratégias de irrigação são de grande importância para a economia de água. O objetivo do presente estudo foi o de avaliar diferentes lâminas de irrigação (déficit e excesso) no decorrer do ciclo total e em fases fenológicas específicas da cultura do milho. Foram avaliadas as características de desenvolvimento, produção e estado hídrico da planta. Os experimentos foram realizados no Departamento de Engenharia de Biosistemas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ-USP, localizada em Piracicaba - SP. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 12 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiam na reposição de 150, 100, 50 e 30% da água evapotranspirada (ETc), aplicadas em quatro subperíodos do ciclo total da cultura: subperíodo 1 (V4 a V8), subperíodo 2 (V8 a Vp), subperíodo 3 (Vp a R1) e subperíodo 4 (R1 a R6). Os dados de cada experimento foram submetidos a análise de variância individual e quando possível, análise de variância conjunta, utilizando os dados médios dos experimentos. O 1º plantio foi realizado em 18 de maio de 2012 e o 2º 21 de abril de 2013 em ambiente protegido, totalizando 137 e 144 dias de ciclo, com soma-térmica de 1413 e 1444°C graus dias acumulados (GDA), respectivamente. Avaliou-se a altura das plantas (ALT), altura de inserção da espiga (AIT.I), número de espigas por planta (N.E), peso da espiga com palha (PEP), peso da espiga despalhada (PED), número de grão por espiga (NG), número de fileiras de grão por espiga (NFG), tamanho da espiga (TE), diâmetro da espiga (DE) diâmetro do sabugo (DS), número de entrenós (NE) e produtividade (PG). Mediu-se a temperatura foliar (Tf), déficit de pressão e vapor (DPV) e potencial hídrico foliar ($-\psi_f$). O potencial hídrico foliar mostrou ser o método eficaz quanto ao estado hídrico da planta, havendo diferenciação entre os quatro tratamentos estudados (III, EEEE, D50 e D70), demonstrando variação do seu valor ao longo do dia. Calculou-se o coeficiente de resposta da cultura ao déficit hídrico (KY), onde o período de pendoamento e floração foram os mais críticos quando a deficiência hídrica foi imposta em fases fenológicas específicas. A partir dos dados de produtividade e lâminas de água aplicadas nos dois experimentos, foi possível ajustar modelos polinomiais de 2º grau para a produtividade da água (PA) e função de produção da cultura. Os resultados permitiram concluir que a maior PA foi obtida no tratamento D50.

Palavras-chave: Déficit hídrico; Excesso hídrico; Milho; Potencial hídrico foliar; Manejo de irrigação

ABSTRACT

Deficit and water excess in maize (*Zea mays* L.) in greenhouse

Deficit and water excess in maize (*Zea mays* L.) in greenhouse Maize is a culture with importance in global scenario due your function in food industry, as well as yours water requirements in the course of your cycle. Therefore, studies became important regarding the use of water resources where irrigation strategies are of great importance for water savings. This study aimed evaluate different irrigation levels (deficit and water excess) during a total maize cycle and at different specifics phenological stages of the culture. Development characteristics, production and hydric state of the plant were evaluated. The experiments were conducted at Department of Biosystems Engineering from "Luiz de Queiroz" College of Agriculture, located at Piracicaba, São Paulo State. The experimental design was a randomized block, with 12 treatments and 4 repetitions. Treatments consisted in replacement of 150, 100, 50 and 30% of water evapotranspired (ET_c), applied in four subperiods of the total culture cycle: subperiod 1 (V4 to V8), subperiod 2 (V8 to Vp), subperiod 3 (Vp to R1) and subperiod 4 (R1 to R6). The experimental data were submitted to individual variance analysis, and when were possible, conjunct variance analysis, using the average data of the experiments. The first planting was carried out on 18 May of 2012 and the second, on April 21 of 2013, in greenhouse, totaling 137 and 144-day cycle, with sum-Thermal 1413 and 1444 °C accumulated degree days (ADD), respectively. Were evaluated the plant height (PH); ear height insertion (AIT.I); number of ears per plant (NE); ear weight with straw (PEP); weight of ear without straw (PED); number of grain per ear (NG); number of grain rows per ear (NFG); ear size (TE); ear diameter (dE); diameter of the cob (DS); number of between-nodes (NE) and productivity (PG). The leaf temperature was measured (T_m), also the vapor pressure deficit (VPD) and leaf water potential (PI). Leaf water potential showed to be an efficient method regarding hydric state of the plant, there were difference between the four treatments studied (III, EEEE, D50 e D70), demonstrating variation of its value over the day. the response coefficient of the crop to water deficit (KY) were calculated, where the period of bolting and flowering were the most critical when water stress was imposed in specific phenological stages. From the productivity data and water levels applied in both experiments, was possible adjust second degree polynomials models to water productivity (WP) and culture production function. The results allowed conclude that a higher WP were obtained in the treatment D50.

Keywords: Water deficit; Water excess; Maize; Leaf water potential; Irrigation management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e vista interna do experimento	39
Figura 2 - Curva de retenção de água no solo (GAVA et al., 2014).....	41
Figura 3 - Esquema da área experimental	42
Figura 4 - Equação de calibração (GAVA et al., 2014)	43
Figura 5 - Disposição das TDRs e Multiplexador Campbell TDR100	44
Figura 6 - Curva kc (ALLEN et al., 1998).....	46
Figura 7 - Estação agrometeorologia automática.....	47
Figura 8 - Esquema do sorteio para a disposição dos tratamentos*.....	48
Figura 9 - Fenologia do milho: estádios de desenvolvimento da cultura. Adaptado de Fancelli (1986) e Iowa State University Extension (1993).Figura de Weismann (2008).....	49
Figura 10 - Câmara de pressão de Scholander.....	51
Figura 11 - Calibração e medição da temperatura foliar	52
Figura 12 - Temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), Graus dias acumulados (GDA), referente ao ciclo da cultura no experimento I.	60
Figura 13 - Temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), Graus dias acumulados (GDA), referente ao ciclo da cultura no experimento II.	61
Figura 14 - Regressão do potencial hídrico foliar ($-\psi_f$) ao longo do dia (6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18h) submetido aos diferentes tratamentos no dia 10/07/2013	79
Figura 15 - Regressão do potencial hídrico foliar ao longo do dia (6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18h) submetido aos diferentes tratamentos no dia 17/08/2013.	82
Figura 16 - Regressão do potencial hídrico foliar ao longo do dia (8, 10, 12, 14, 16 e 18h) submetido aos diferentes tratamentos no dia 14/09/2013.....	84
Figura 17 - Redução relativa da produtividade 1- (Y_r/Y_m) em função do déficit relativo de evapotranspiração 1- (ET_r/ET_m) da cultura do milho no experimento 1, Piracicaba - SP.....	89
Figura 18 - Redução relativa da produtividade 1- (Y_r/Y_m) em função do déficit relativo de evapotranspiração 1- (ET_r/ET_m) da cultura do milho no experimento 2, Piracicaba - SP.....	93

Figura 19 - Produtividade de água da cultura do milho, experimento I.....	95
Figura 20 - Produtividade de água da cultura do milho, experimento II.....	95
Figura 21 - Função de produção da cultura do milho, experimento I	96
Figura 22 - Função de produção da cultura do milho, experimento II	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estádios fenológicos da cultura do milho	36
Tabela 2 - Coeficiente de resposta da cultura (Ky) para o período total de crescimento e para os diferentes estádios de desenvolvimento das culturas de milho, soja, sorgo e trigo	38
Tabela 3 - Resultado da análise química do solo.....	40
Tabela 4 - Parâmetros da eq. de Van Genuchten.....	41
Tabela 5 - Coeficientes de cultivo da cultura do milho nos estádios de desenvolvimento	46
Tabela 6- Resumo da análise de variância individual do experimento 1 (Exp1) e experimento 2 (Exp2) para as variáveis PG, PEP e PEP para a verificação das grandezas dos quadrados médio dos resíduos	62
Tabela 7- Resumo da análise de variância conjunta dos experimentos para as variáveis PG, PEP e PES.....	62
Tabela 8 - Diferenças significativas dos valores médios de produtividade (PG), peso da espiga com palha (PEP) e peso da espiga despilhada (PED) nos experimentos 1 e 2, referente aos tratamentos estudados.....	65
Tabela 9 - Resumo da análise de variância individual do experimento 1 (Exp1) e experimento 2 (Exp2) para as variáveis Alt. Inserção, Ngrão e Alt para a verificação das grandezas dos quadrados médio dos resíduos	67
Tabela 10 - Resumo da análise de variância conjunta dos experimentos para as variáveis Alt. I, N.grão e Alt.	67
Tabela 11- Diferenças significativas dos valores médios de altura de inserção da espiga (ALT.I) e altura de planta (ALT) dos experimentos	69
Tabela 12 - Valores médios do número de grãos (Ngrãos) nos experimentos 1 e 2.	70
Tabela 13 - Resumo da análise de variância individual do experimento 1 (Exp1) e experimento 2 (Exp2) para as variáveis T. espiga, Fileiras e N.estrenós para a verificação das grandezas dos quadrados médio dos resíduos	71
Tabela 14 - Resumo da análise de variância conjunta dos experimentos para as variáveis T. espiga, Fileiras, e N.entrenós.	71

Tabela 15 - Valores médios do tamanho da espiga (TE) e número de fileiras de grãos (NFG).....	72
Tabela 16 - Diferenças significativas dos valores médios de número de entrenós (NE) dos experimentos.	73
Tabela 17 - Resumo da análise de variância individual do experimento 1 (Exp1) e experimento 2 (Exp2) para as variáveis DE, PS e DS para a verificação das grandezas dos quadrados médio dos resíduos	73
Tabela 18 - Resumo da análise de variância conjunta dos experimentos para as variáveis DE, PS, e DS.....	74
Tabela 19 - Diferenças significativas dos valores médios dos experimentos de diâmetro da espiga (DE), peso do sabugo (PS) e diâmetro do sabugo (DS).....	75
Tabela 20 - Resumo da análise de variância na regressão dos dados de potencial hídrico foliar da cultura do milho às 6, 8,10, 12, 14, 16 e 18 horas do dia 10 de Julho de 2013 em Piracicaba - SP.....	77
Tabela 21 - Resumo da análise de variância na regressão dos dados de potencial hídrico foliar da cultura do milho às 6, 8,10, 12, 14, 16 e 18 horas do dia 17 de Agosto de 2013 em Piracicaba - SP	80
Tabela 22 - Variação horária da temperatura do ar (Tar°C), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (Tf°C) nos 4 tratamentos no dia 17 de Agosto de 2013 em Piracicaba - SP	81
Tabela 23 - Resumo da análise de variância na regressão dos dados de potencial hídrico foliar da cultura do milho às 6, 8,10, 12, 14, 16 e 18 horas do dia 14 de Setembro de 2013 em Piracicaba – SP.....	83
Tabela 24 - Variação horária da temperatura do ar (Tar°C), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (Tf°C) nos 4 tratamentos no dia 14 de Setembro de 2013 em Piracicaba - SP	85
Tabela 25 - Equações de regressão do potencial hídrico foliar em função das diferentes horas do dia nas três diferentes datas de medição.....	86
Tabela 26 - Valores de evapotranspiração real da cultura (ETr), evapotranspiração máxima da cultura (ETm), produtividade real da cultura (Yr), produtividade máxima da cultura (Ym) e coeficiente de sensibilidade (Ky), para a produtividade da cultura do milho (kg.ha ⁻¹) no Experimento 1, em Piracicaba - SP	88

Tabela 27 - Valores de evapotranspiração real da cultura (ET _r), evapotranspiração máxima da cultura (ET _m), produtividade real da cultura (Y _r), produtividade máxima da cultura (Y _m) e coeficiente de sensibilidade (K _y), para a produtividade da cultura do milho (kg.ha ⁻¹) no experimento 2, em Piracicaba - SP.....	92
Tabela 28 - Dados meteorológicos de Radiação global, umidade relativa média e evapotranspiração de referência referente ao experimento 1 (esquerda) e experimento 2 (direita) (continua)	118
Tabela 29- Dados meteorológicos de Radiação global, umidade relativa média e evapotranspiração de referência referente ao experimento 1 (esquerda) e experimento 2 (direita)	119
Tabela 30 - Dados meteorológicos de Radiação global, umidade relativa média e evapotranspiração de referência referente ao experimento 1 (esquerda) e experimento 2 (direita)	120
Tabela 31- Dados meteorológicos de Radiação global, umidade relativa média e evapotranspiração de referência referente ao experimento 1 (esquerda) e experimento 2 (direita)	121
Tabela 32- Medições do potencial hídrico (Mpa) foliar referentes ao dia 14-9-2013	122
Tabela 33- Medições do potencial hídrico foliar referentes ao dia 10-7-2013	122
Tabela 34- Medições do potencial hídrico foliar referentes ao dia 17-08-2013	123

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção de alimentos torna-se fator de muita atenção, uma vez que o crescimento populacional (estima-se um crescimento de 30% até o ano de 2030) implique em maior demanda por alimentos e consequentemente maior procura por água. A utilização da água e a produção de alimentos são processos estritamente relacionados, tornando-se as práticas de uso dos recursos hídricos da mais alta importância, uma vez que seu uso racional (minimizando desperdícios) contribua não só para o seu zelo, mas também para evitar a não contaminação dos cursos de água, lençol freático e solos, ocasionados pelo uso sem conhecimento técnico. Desse modo, deve-se priorizar a adoção estratégica de utilização da água na agricultura, fornecendo água as culturas de modo a maximizar seu rendimento.

De fato, é sabido que a agricultura consome muita água, principalmente para a irrigação de culturas, que é da ordem de 70% de toda a água captada pelo homem. No entanto, há desperdício no seu uso em todas as atividades humanas, seja nas redes de abastecimento urbano, seja nos processos industriais e no uso agrícola, que pode ser em equipamentos de irrigação mal projetados e/ou mal manejados, na limpeza de granjas ou no uso em agroindústrias. Porém a agricultura é o único segmento que fornece ao meio ambiente água limpa na forma de evapotranspiração (ALBUQUERQUE, 2004).

De acordo com Albuquerque (2010), a aplicação de pouca água na cultura pode ser considerada um desperdício, tendo em vista que a produção não acarretará no benefício esperado. Por outro lado, a aplicação excessiva é muito mais destrutiva, pois ocorre saturação do solo, o que impede a sua aeração, lixivia nutrientes, induz maior evaporação e salinização do solo.

No estudo das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera é fundamental a quantificação das necessidades hídricas das culturas durante o ciclo de desenvolvimento. Ela é necessária ao planejamento e manejo da água nas lavouras, em programas de regionalização de cultivares, na estimativa de rendimento da cultura em regiões específicas, no zoneamento agroclimático e de risco climático e para definir práticas de manejo, visando o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

Independente do sistema de cultivo adotado, o conhecimento apenas da necessidade total de água pela cultura não implica num manejo eficiente da

irrigação, sendo indispensável, o conhecimento das necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios ou fases fenológicas do seu ciclo (SOUZA et al., 2011).

Diante do exposto o objetivo do trabalho foi o de verificar a influência de diferentes lâminas de água em diferentes fases fenológicas no desempenho produtivo da cultura do milho, avaliando a altura das plantas (ALT), altura de inserção da espiga (AIT.I), peso da espiga com palha (PEP), peso da espiga despilhada (PES), número de grão por espiga (Ngrãos), número de fileiras de grão por espiga (NFG), tamanho da espiga (TE), diâmetro da espiga (DE) diâmetro do sabugo (DS), número de entrenós (NE) e produtividade (PG), com a hipótese de que exista uma combinação lâmina de água/fase fenológica, que mesmo causando queda de rendimento produtivo, esse seja mínimo, a ponto de se optar por uma lâmina de déficit em alguma fase fenológica específica ou no ciclo total, ao invés uma lâmina sem déficit hídrico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do milho– aspectos gerais

O milho é um dos cereais mais importantes cultivados no mundo. É uma planta gramínea da espécie *Zea mays* L., um cereal de alta qualidade nutritiva sendo cultivado a muitos séculos. O milho está entre as graníferas de alta importância na produção agrícola do Brasil, haja vista a significativa área cultivada e a destinação, tanto para consumo humano como animal (SANTOS, 2002). Sendo cultivado nos mais diversos ambientes e climas do planeta (WERLE et al., 2011).

O milho no Brasil ocupou, em 2007, uma área em torno de 12,9 milhões de hectares, responsável por uma produção de cerca de 41,3 milhões de toneladas de grãos, apresentando um rendimento médio de 3.198 kg.ha⁻¹ (3.298 kg.ha⁻¹ na safra e 2.907 kg.ha⁻¹ na safrinha), de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2008). Em 2012, o Brasil semeou aproximadamente 14,5 milhões de hectares, com produtividade em torno de 4.392 kg.ha⁻¹ totalizando uma produção de 59,2 milhões de toneladas CONAB (2012). A cultura do milho se constitui em uma das mais importantes atividades do cenário agrícola brasileiro, considerando-se os aspectos socioeconômicos, já que é cultivado em todos os estados da Federação, com produção superior a 33,867 milhões de toneladas (CONAB, 2014).

No ano agrícola 2012/13, o Brasil produziu cerca de 81,0 milhões de toneladas de milho (CONAB, 2014), numa área de, aproximadamente, 15,8 milhões de hectares. Quando comparada aos EUA, somente o estado de Iowa produziu próximo de 60 milhões de toneladas numa área que corresponde a menos da metade da área cultivada no Brasil, segundo dados do USDA (2012). Na safra 2013/14, foram produzidos no Brasil 78,9 milhões de toneladas numa área de 15,4 milhões de hectares (CONAB, 2014).

Na agricultura brasileira, em termos de área plantada, a cultura do milho é a segunda mais cultivada, após somente da cultura da soja, sendo o Brasil o terceiro produtor mundial (FAO, 2011).

Atualmente o milho vem sendo cultivado em quase todos os continentes. Segundo Dourado Neto e Fancelli (2000) em regiões compreendidas entre 58° de latitude Norte (Canadá e União Soviética) a 40° de latitude Sul (Argentina), distribuídas nas mais diversas altitudes, como desde localidades situadas abaixo do

nível do mar (Região do Mar Cáspio) até regiões apresentando mais de 2.500 m de altitude, nos Andes Peruanos. É considerado uma das principais espécies utilizadas no mundo (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000), visto que anualmente são cultivados cerca de 160,6 milhões de hectares, os quais contribuem para a produção de, aproximadamente, 816 milhões de toneladas de grãos (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2011).

Os principais países produtores e fornecedores de milho no mercado mundial são basicamente os Estados Unidos, China e Brasil; a Argentina apesar de não ser um grande produtor desse cereal, consiste em um importante fornecedor de milho (USDA, 2012). Ainda, segundo o autor, os Estados Unidos e a Argentina apresentam vantagem em relação ao escoamento do milho comparados ao Brasil, por apresentar uma logística favorável, decorrente das excelentes estruturas de transporte, no caso dos Estados Unidos, e proximidade dos portos para escoar a produção para a Argentina. O Brasil também possui uma fatia do mercado mundial, porém, as deficiências da estrutura de transporte até os portos e a instabilidade cambial têm prejudicado o país no comércio internacional de milho (BRASIL, 2012).

Segundo Bergamashi (2004), o milho pertence ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C4, que se caracteriza pelo elevado potencial produtivo. Sua elevada produtividade ocorre quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico. Essa condição permite a máxima fotossíntese possível, porém aumenta a necessidade hídrica da cultura, já que o elevado fluxo energético incidente também eleva a evapotranspiração.

Com relação ao clima sobre a cultura do milho, é de se considerar que a influência relativa dos fatores que afetam a estação de crescimento varia conforme as características específicas de cada região. Doorenbos e Kassan (1994) recomendam estudos regionalizados sobre as relações entre queda de rendimento relativo e o déficit relativo de evapotranspiração, com teste dos fatores de resposta da produção ao déficit hídrico, já que as condições de produção durante o ciclo da cultura são específicas do local e da variedade utilizada.

Em função de características edafoclimáticas, as principais épocas de semeadura também variam de acordo com a região geográfica. Os fatores climáticos que exercem maior influência sobre a cultura são a radiação solar, a precipitação pluvial e a temperatura, que interferem diretamente nas atividades fisiológicas da

planta e conseqüentemente na produção de grãos e matéria seca (LANDAU et al., 2009).

A cultura do milho é produzida em climas que variam desde a zona temperada até a tropical, durante os períodos em que as temperaturas médias são superiores a 15°C sem ocorrência de geadas. Para obter a produção máxima, com período médio de amadurecimento, o milho necessita de 500 a 800 mm de água, dependendo do clima (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Apresenta ciclo vegetativo variável, contemplando desde genótipos precoces, onde a polinização pode ocorrer 30 dias após a emergência, até mesmo aqueles cujo ciclo vital pode alcançar 300 dias após semeadura. No Brasil, a cultura de milho apresenta um ciclo vegetativo variando entre 110 a 180 após a emergência, em função da caracterização dos genótipos, ciclos superprecoce, precoce e tardio (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

2.2 Estresse hídrico, conceitos e importância

Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, o déficit hídrico ocupa posição de destaque, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é um fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis (NOGUEIRA et al., 2001). A redução do teor de água na planta, a diminuição do potencial hídrico foliar e a perda de turgor, fechamento dos estômatos e diminuição do crescimento celular constituem respostas de uma planta submetida ao estresse hídrico (JALEEL et al., 2009). O excesso ou a falta de água acarreta injúrias e diminuição da produtividade das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013), o que torna necessário conhecer a quantidade de água a ser fornecida no cultivo para que seja efetuado um manejo consciente com o qual as plantas se desenvolvam de forma satisfatória, melhorando a qualidade da produção, evitando desperdício de água e reduzindo custos na irrigação (COÊLHO et al., 2014).

Estresse é um desvio significativo das condições ótimas para a vida, e induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis em princípio, mas podem se tornar permanentes (LARCHER, 2000). É um fator externo que exerce uma influência desvantajosa para a planta (TAIZ; ZEIGER, 2004). Uma planta pode estar submetida a vários tipos de estresses ambientais. Entretanto, o estresse por deficiência hídrica é considerado como a

maior restrição na produção e estabilidade da produtividade de culturas em muitas regiões do mundo (HEINEMANN, 2010).

O déficit hídrico é o estresse ambiental que mais interfere no desenvolvimento das culturas agrícolas, sendo a disponibilidade de água às 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). Estudos de tolerância ao déficit hídrico 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). Desta forma, ressalta-se que a água é um recurso cada vez mais limitante ao desenvolvimento e produção vegetal e daí a necessidade de técnicas que permitam aumentar a produtividade das culturas a cada unidade de volume de água aplicada (SANTOS, 2012).

À medida que se desenvolvem estratégias de irrigação, torna-se importante conhecer o efeito da deficiência hídrica nos estádios de desenvolvimento das plantas. Na planta, tanto o crescimento quanto o desenvolvimento e a translocação de fotoassimilados encontram-se ligados à disponibilidade hídrica do solo (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000). Segundo Bänzinger et al. (2000), em condições de déficit hídrico, a produtividade de grãos é substancialmente afetada, sendo os estádios de florescimento e enchimento de grãos considerados as fases mais críticas da cultura.

Salienta-se que o milho, possui desenvolvimento influenciado pelas condições de umidade do solo. A deficiência hídrica é, normalmente, o fator mais limitante à obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial, sendo que a reposição de água ao solo por irrigação, na quantidade e no momento oportuno, é decisiva para obter maximização da produção (MATOS et al., 2012; MAROUELLI; SILVA, 2006).

De acordo com Magalhães et al. (2002) dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, quatro a oito dias diminuem em mais de 50%. O efeito da falta de água, associado à produção de grãos, é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta:

- a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado;

- b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nesta fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico;
- c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, desde que o estresse vai resultar na menor produção de carboidratos, o que implicaria menor volume de matéria seca nos grãos.

A magnitude dos efeitos do déficit hídrico sobre a produtividade de grãos de milho está relacionada ao período, duração, intensidade de ocorrência deste fator e da capacidade genética da planta em responder as mudanças do meio (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000). O período de florescimento é considerado como o estágio mais sensível e determinante do potencial produtivo, podendo ocorrer limitações superiores a 50% quando o déficit hídrico ocorrer nessa fase; (DURAES et al., 2004) constataram haver forte correlação entre precipitação ocorrida no ciclo reprodutivo e produtividade de grãos. Entretanto, houve correlação superior quando as precipitações ocorreram durante todo o ciclo da cultura. Na fase de formação dos componentes do rendimento de grãos (o número de espiga, número de grãos por espiga, número de fileiras de grãos, peso de espiga e peso de grãos) é considerado como menos crítico à falta de água, mas importante para o tamanho do grão. Após a maturidade fisiológica, a água tem pouca influência na produtividade de grãos (DOORENBOS; PRUITT, 1975).

Trabalhando com a distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos, Bergamaschi et al. (2004) concluíram que irrigações durante o período que vai do pendoamento ao início de enchimento de grãos permitem elevada produtividade de grãos de milho, mesmo que a umidade do solo seja mantida abaixo da capacidade de campo.

No contexto de melhorias da produtividade da água, há um interesse na prática da irrigação deficitária, onde se tolera um déficit hídrico leve, que resultam em mínimas perdas sobre o rendimento. Em condições de escassez de água e seca, a irrigação deficitária poderá obter rendimento maximizado por unidade de água por cultura (FAO, 2002).

Alguns autores têm estudado a cultura do milho em condições de déficit 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%. Já Schittenhelm (2010), estudando a cultura do milho em consórcio com sorgo e girassol, informa que o milho tem potencial de produção mesmo em anos com baixa disponibilidade hídrica.

Rufino et al. (2012) avaliando o desempenho de quatro genótipos de milho submetidos a diferentes períodos de déficit hídrico no estágio de crescimento vegetativo, constataram que todas as características da parte aérea das plantas foram prejudicadas pela redução da disponibilidade hídrica, notadamente nos parâmetros de altura de planta, fitomassa e área foliar.

Bonfim-Silva et al. (2011) na avaliação de gramíneas submetidas a três níveis de disponibilidades hídricas, verificaram que o milho, o sorgo e o milheto apresentaram menor número de folhas quando submetido as disponibilidades hídricas de 30% da capacidade máxima de retenção de água no solo e em condições de alagamento.

Oliveira et al. (2014) objetivando avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do feijão-fava em ambiente protegido, relatam que o déficit afetou seu desenvolvimento, diminuindo o índice de área foliar aumentando o abortamento de flores e vagens, constatando que o feijão-fava foi mais sensível ao estresse hídrico quando deu-se em mais de uma fase de desenvolvimento. Santos et al. (2012) com objetivo de avaliar a resposta de genótipos de trigo submetidos ao déficit hídrico no início do florescimento em casa de vegetação, constataram a redução do teor relativo de água em todas as variáveis biométricas, em função do déficit hídrico; menor produção de fitomassa e produção de grãos quanto comparadas as plantas irrigadas sem restrição hídrica.

Há um período durante o ciclo da cultura em que mais água é consumida diariamente. No caso do milho, esse período coincide com o florescimento e enchimento dos grãos. A quantidade de água usada pela cultura, por unidade de tempo nesse período é chamada de demanda de pico. O milho é considerado uma cultura que demanda muita água, mas também é uma das mais eficientes no seu uso, isto é produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida (ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2001).

As práticas convencionais de irrigação baseiam-se na necessidade de água da cultura, definida pela demanda evapotranspirométrica, e na eficiência da aplicação da água (FRIZZONE, 2007). De acordo com o autor, na irrigação com

déficit, planeja-se atender somente a uma fração da demanda de água da cultura por evapotranspiração. Esse tipo de manejo pode ser praticado com irrigação total e com irrigação suplementar. O déficit de água pode ser imposto durante todo o ciclo da cultura, ou somente nas fases não-críticas ao déficit hídrico.

2.3 Produtividade da água

A produtividade da água é definida como a razão entre a produção de biomassa (kg) e a quantidade de água consumida pela cultura (m³), incluindo a precipitação pluvial e água aplicada pela irrigação, ou evapotranspiração total do período de cultivo (PEREIRA et al., 2002). Na literatura, muitos autores utilizam o termo eficiência do uso da água (EUA) como sinônimo de produtividade de água (PA). Contudo, ocorrem algumas confusões com o conceito de EUA, pois o termo é muitas vezes utilizado para analisar o desempenho da planta (quando se considera a razão entre a assimilação e as taxas de transpiração), bem como, em alguns casos, utilizado como sinônimo de eficiência de aplicação de água, ou eficiência dos sistemas de irrigação (PEREIRA et al., 2002). Desta forma, a produtividade da água é um ótimo indicador para a análise e tomada de decisão, pois permite avaliar a variação da razão entre a produção e a quantidade de água utilizada, sugerindo valores que maximizem sua utilização (MASCHIO, 2011).

As investigações sobre a irrigação com déficit hídrico têm permitido um aumento da produtividade de água, pois a adoção de estratégias neste sentido pode ser capaz de reduzir a quantidade de água aplicada, causando um mínimo impacto na produção. Os benefícios potenciais da irrigação com déficit são atribuíveis a três fatores: aumento da eficiência da irrigação, redução dos custos de irrigação e redução de riscos associados aos impactos ambientais (ENGLISH; NAVAID, 1996). Atualmente, existem modelos de produção/água que permitem estimar a produção da cultura em função da água por ela utilizada, fato que tem despertado grande interesse de pesquisas pelo importante papel que podem desempenhar para auxiliar na gestão e otimização de recursos hídricos. Sendo de grande utilidade quando se pretende realizar a gestão da irrigação em condições de déficit hídrico (MARTIN et al., 2012). Queiroz et al. (2005) relatam que a PA é um parâmetro importante na seleção de métodos de aplicação e manejo da água de irrigação, pois indica qual a combinação entre estes fatores que leva à maior produção com o menor consumo.

Segundo Melo et al. (2010), a PA aumenta quando ocorre uma redução da lâmina aplicada sem diminuição da produção. Para Lima et al. (2010), com apenas 1% do aumento da PA na Região Nordeste, estima-se que haveria uma economia de 165 mil litros de água por hectare irrigado por ano.

O conhecimento da produtividade da água ao longo do ciclo da cultura possibilita identificar qual é o estágio mais suscetível à deficiência hídrica ou em que período do ciclo ocorre o maior consumo de água, favorecendo o manejo adequado da irrigação, trazendo assim, maior retorno econômico através da produção (FAGAN et al., 2009).

2.4 Manejo racional da água de irrigação

No Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação. Apesar da disponibilidade de vários métodos de manejo, os irrigantes não têm sido receptivos a qualquer método em particular (ESPINDULA NETO, 2002). Segundo Jensen (1983), os principais fatores que colaboram para tal ocorrência são os baixos custos da água de irrigação, em comparação com o custo de implantação de um programa de manejo, bem como a dificuldade na identificação e quantificação da redução na produtividade devido ao atraso na irrigação, à fertilização imprópria e irrigação excessiva.

O manejo da irrigação tem potencial para elevar a produção e reduzir o risco associado às flutuações de produção. No entanto, introduz custos adicionais, envolvendo mão-de-obra energia e água, além da aquisição de equipamentos. Os custos da irrigação não devem contemplar apenas os custos de implantação e de investimento, mas também outros custos fixos e variáveis calculados por um ano e por unidade de área. A irrigação justifica-se como recurso tecnológico indispensável ao aumento da produtividade das culturas em regiões onde a insuficiência ou má distribuição das chuvas inviabiliza a exploração agrícola (FRIZZONE, 2002; MARQUES; FRIZZONE, 2006).

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 consequentemente obter bom retorno econômico (PAVINATO et al., 2008).

2.5 Temperatura foliar, temperatura do ar e graus-dias

A temperatura foliar, a relação entre temperatura foliar e a temperatura do ar ou mesmo a diferença entre ambas, têm sido empregadas por diversos pesquisadores como indicadoras das condições hídricas das plantas (OLIVEIRA et al., 2005).

A elevação da temperatura do ar aumenta a quantidade de vapor de água que a atmosfera pode reter, desse modo, com aumento da temperatura há redução no potencial hídrico da atmosfera, elevando o gradiente entre o potencial da folha e do ar. Esta situação aumenta a taxa de transpiração, e consequentemente promove um maior consumo de água, podendo esta ser o principal limitante a produção de milho em condições de elevada temperatura (FLOSS, 2008). A diferença de temperatura entre a folha e o ar, ou entre o dossel vegetal e o ar, chamado também como índice de estresse hídrico da cultura, e um excelente indicativo do estado hídrico de alguns tipos de plantas, como algodão, milho, trigo e soja (LEBOUGEOIS et al., 2010).

No desenvolvimento do milho, a duração do ciclo em dias tem demonstrado inconsistência. Isso se deve ao fato de que a duração de subperíodos e dos ciclos da planta estão associados às variações das condições ambientais, e não ao número de dias dos meses. De forma generalizada, a temperatura apresenta-se como o elemento climático mais importante para predizer os eventos fenológicos da cultura (GADIOLI, 1999). Tendo em vista o sucesso na predição de datas de ocorrência dos estádios de desenvolvimento da cultura do milho, os pesquisadores têm afirmado que o conceito de “unidade térmica” é universalmente aplicável (BERGONCI; BERGAMASCHI, 2002).

Existem vários métodos de estudos relacionando as interações clima-planta, destacando-se o que leva em consideração o total de graus-dia acumulados (BRUNINI, 1998). O conceito de graus-dia parte do seguinte princípio: o

desenvolvimento de uma espécie vegetal está relacionado com o meio em cada fase fenológica ou no ciclo da cultura e é controlado a partir da soma térmica diária necessária para cada estágio. Os valores de soma térmica são diferentes entre as variedades de plantas (SCHÖFFEL; VOLPE, 2002), como também os métodos de cálculo para esta soma térmica (DUFALT, 1997).

Segundo Ometto (1981), existe uma temperatura mínima para acionar os dispositivos metabólicos da planta, que é denominada de temperatura basal inferior (T_b). Somente acima desta temperatura a planta pode se desenvolver. O mesmo autor ressalta, contudo, que a planta também possui uma temperatura basal superior (T_B), acima da qual há um estancamento das atividades metabólicas, prejudicando seu desenvolvimento.

Os valores de temperatura basal inferior e superior variam de acordo com a espécie e o cultivo estudados. Alguns trabalhos também utilizam valores diferentes para cada etapa do desenvolvimento da planta (SOUZA, 1996). Para a cultura do milho, por exemplo, normalmente é utilizado um valor de 10°C como temperatura basal inferior e 32°C como temperatura basal superior (ASSIS et al., 2006).

2.6 Potencial hídrico foliar

As respostas das plantas às condições de estresse hídrico variam de acordo com a espécie, cultivar, tempo de exposição e fatores edáficos, entre outros. Não existe uma única variável fisiológica que, por si só, seja indicativa de tolerância à seca. Segundo Nogueira et al. (2001), o ideal é avaliar-se mais de uma variável, tais como potencial hídrico, condutância estomática, temperatura e transpiração foliar, considerados importantes para avaliar as respostas das espécies vegetais ao estresse hídrico.

Dentre as medidas para se determinar o déficit hídrico nas plantas destaca-se o potencial da água que é uma medida importante e sensível do estado hídrico da planta em que varia de valores próximos de zero nas plantas sem estresse, até valores bem abaixo de zero ou igual ao potencial osmótico, em plantas com estresse severo (HSIAO, 1973). O potencial de água da folha descreve o estado energético dela, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera. Embora haja variação ao longo do dia, mesmo em plantas irrigadas, esse parâmetro descreve o estado hídrico da planta, e tem sido muito utilizado em estudos das

relações hídricas dos vegetais (BERGONCI et al., 2000). Medições do potencial hídrico foliar podem fornecer informações que permitam identificar o status hídrico em que se encontram as plantas. Para a maioria das espécies, o potencial hídrico acompanha as variações diurnas da demanda evaporativa da atmosfera, atingindo um valor máximo logo antes do nascer do sol. Nesse momento, as plantas encontram-se com a máxima turgescência possível para uma dada condição hídrica no solo (KRAMER; BOYER, 1995).

O potencial hídrico foliar mede o estado de energia da água nas plantas e é mensurada através de uma metodologia simples descrita por Scholander et al. (1965). Para avaliar o grau de déficit hídrico de uma planta é comum utilizar-se de variáveis relacionadas às folhas, como o conteúdo relativo de água foliar e o potencial hídrico, sendo este último o mais utilizado em estudos fisiológicos (ANGELOCCI, 2002).

Riboldi (2014) estudando a variação da pressão de turgor em plantas de milho submetidas ao déficit hídrico, concluiu que essas apresentaram redução do potencial de água na folha quando comparadas as que eram irrigadas sem déficit, e diz ainda que ambas sofriam flutuações do potencial hídrico ao longo do dia. Liberato et al. (2006) verificou reduções no potencial hídrico de até 70% em plantas de acariquara (*Minquartia guianensis* Aubl.) estressadas (sem irrigação) comparadas com plantas irrigadas diariamente.

A avaliação do status hídrico das plantas quando submetidas à deficiência hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva, demonstra que cultivares de feijão-de-corda sofreram reduções significativas no potencial hídrico foliar, condutância estomática e transpiração foliar, com consequente aumento na temperatura da folha (MENDES et al., 2007).

Santos et al. (2014) estudando o desempenho ecofisiológico de milho e sorgo sob déficit hídrico em casa de vegetação, verificaram redução de 248% do potencial hídrico em plantas de milho submetidas ao déficit quando comparadas às plantas bem hidratadas. O sorgo apresentou redução de 212% e 42% para os mesmos parâmetros respectivamente.

2.7 Cultivo em ambiente protegido

Quanto as condições edafoclimáticas, o cultivo em ambiente protegido pode permitir um maior controle dos elementos que influenciam no desenvolvimento das plantas: temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, características do solo. Dessa forma, o conhecimento de tais informações sobre o clima auxilia o produtor a fugir de períodos adversos que possam acarretar prejuízos e má qualidade de seus produtos, ou ainda, comercializa-los em um período de menor oferta e melhor preço.

O estudo das variáveis meteorológicas em ambientes protegidos é de fundamental importância visto que o cultivo em casas de vegetação com coberturas plásticas proporciona condições diferentes das encontradas a céu aberto (FARIAS; SAAD, 2003). A evapotranspiração em ambiente protegido é menor do que aquela que ocorre no exterior em virtude da difusividade da cobertura plástica e das condições de temperatura, umidade relativa do ar e da redução da ação dos ventos, principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera (ANDRADE JÚNIOR et al., 2011). Em geral, a evapotranspiração em ambiente protegido é de 60 a 80% da verificada exteriormente (VIANA et al., 2001).

O ambiente protegido possibilita a realização do cultivo, até mesmo quando em condições normais de campo não seria possível (PURQUERIO; TIVELLI, 2006).

No cultivo em ambiente protegido, a irrigação é imprescindível e o manejo inadequado do sistema de irrigação e da cultura podem inviabilizar o processo produtivo (SALOMÃO et al., 2014). Sendo assim o manejo do sistema de irrigação deve propiciar condições adequadas para potencializar o desenvolvimento e a produtividade das culturas, possibilitar maximização na eficiência do uso da água e minimizar os custos de investimento e operacionais, de forma que a atividade se torne economicamente viável e sustentável (CANTUÁRIO, 2012).

O manejo da irrigação sob condições de ambiente protegido, pode basear-se em fatores do clima, do solo e da planta. O emprego de sensores de solo, estações agrometeorologias e sensores de medição fluxo de seiva ou câmaras de pressão, são algumas das ferramentas de auxílio para quantificar o volume de água a se aplicar nos cultivos.

2.8 Fases fenológicas do milho

Segundo Fancelli (2002) o ciclo de vida da planta de milho pode ser dividido em uma série de estádios fenológicos. De acordo com Ritchie, Hanway e Benson (1993) (Tabela1) os estádios fenológicos da cultura do milho dividem-se em dois grandes grupos: Vegetativo e Reprodutivo, ambos com subdivisões. Ritchie et al. (1993), efetuaram as subdivisões dos estádios vegetativos e reprodutivos do milho através das designações “V” e “R”. A letra V mais um valor numérico, que representaria o número de folhas totalmente expandidas e a letras R mais um valor numérico, representa o desenvolvimento dos grãos desde a polinização à maturação.

Para Magalhães e Durães (2008), o ciclo fenológico do milho se comporta da seguinte forma:

I- Fase Vegetativa: A subdivisão desta fase é feita a partir de VE (Emergência), V1, V2, V3 até Vn; em que (n) representa a última folha emitida antes do pendoamento (VT). O estágio VT inicia-se quando o último ramo do pendão está completamente visível.

Durante esta fase cada estágio é definido de acordo com a formação visível do colar na inserção da bainha da folha com o colmo. Assim, a primeira folha de cima para baixo, com o colar visível, é considerada completamente desenvolvida e, portanto, é contada como tal.

II- Fase Reprodutiva: Esta fase tem início com o florescimento (R1) – compreendendo a visualização dos estilos-estigmas fora das brácteas. Os estádios posteriores são o de grão leitoso (R2) – 10 a 14 dias após o florescimento; grão pastoso (R3) – 18 a 22 dias após o florescimento; grão farináceo (R4) – 24 a 28 dias após o florescimento; grão farináceo duro (R5) - 35 a 42 dias após o florescimento; e maturidade fisiológica (R6) – 55 a 65 dias após o florescimento.

Tabela 1 - Estádios fenológicos da cultura do milho

Estádios Vegetativos	Estádios Reprodutivos
VE -Emergência	A -Antese
V1 -Primeira folha	R1 -Florescimento e Fecundação
V2 -Segunda folha	R2 -Grãos leitosos
V3 -Terceira folha	R3 -Grãos pastosos
V6 -Sexta folha	R4 -Grãos farináceos
V9 -Nona folha	R5 -Grãos Farináceos duro
V12 -Décima segunda folha	R6 -Maturidade fisiológica
V15 -Décima quinta folha	
V18 -Décima oitava folha	
VT -Pendoamento	

Fonte: adaptado de Ritchie, Hanway e Benson (1993)

Ritchie et al. (1993) relatam que todas as plantas normais de milho seguem esse mesmo padrão geral de desenvolvimento, mas os intervalos de tempo específicos entre os estádios e os números totais de folhas desenvolvidas podem variar entre diferentes híbridos, estações do ano, datas de plantio e locais.

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (1999), o ciclo da cultura compreende as seguintes etapas de desenvolvimento: (I) germinação e emergência: período compreendido desde a semeadura até o efetivo aparecimento da plântula, o qual em função da temperatura e umidade do solo pode apresentar de 5 a 12 dias de duração; (II) crescimento vegetativo: período compreendido entre a emissão da segunda folha e o início do florescimento. Tal etapa apresenta extensão variável, sendo este fato comumente empregado para caracterizar os tipos de matérias genéticas (híbridos ou variedades) de milho, quanto ao comprimento do ciclo; (III) florescimento: período compreendido entre o início da polinização e o início da frutificação, cuja duração raramente ultrapassa 10 dias; (IV) frutificação: período compreendido desde a fecundação até o enchimento doas grãos, sendo sua duração estimada entre 40 e 60 dias; (V) maturidade: período compreendido entre o final da frutificação e o aparecimento da “camada negra”, sendo este relativamente curto e indicativo do final do ciclo de vida da planta, denominado ponto de maturação fisiológica.

O milho expressa alta sensibilidade a estiagens, logo a ocorrência de períodos com redução do aporte hídrico às plantas em períodos críticos do desenvolvimento da cultura, florescimento à maturação fisiológica, pode ocasionar

redução direta no rendimento final (BERGAMASCHI et al., 2004). Causando por exemplo, segundo Bergamaschi et al. (2006), a redução do número de grãos por espiga, este comportamento acarreta em redução gradual do rendimento final de grãos. A deficiência hídrica antecedendo a emissão das anteras pode resultar em redução de 50% no rendimento de grãos e em pleno florescimento ocasiona queda de 20% a 50% em período de 2 a 8 dias, respectivamente (PEGORARE et al., 2009).

2.9 Coeficiente de resposta da cultura (KY)

A maioria das culturas possui períodos críticos quanto à deficiência hídrica, durante os quais a falta de água causa sérios decréscimos na produção final; os prejuízos causados dependem da sua duração e severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (FOLEGATTI et al., 1997). Como a necessidade hídrica varia entre as espécies, e ao longo do seu ciclo, conhecer as respostas das espécies é de grande importância para a elaboração de planos de manejo adequados, considerando-se o uso racional dos recursos disponíveis, de maneira a se obter rendimentos econômicos mais altos (LIMA et al., 2012).

O coeficiente de resposta da cultura (Ky), ou fator de resposta, indica a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico. Doorenbos e Kassam (1994), utilizando o modelo de Stewart, determinaram os valores de Ky para o período total de crescimento e para os diferentes estágios de desenvolvimento de várias culturas a partir da avaliação de inúmeros resultados de pesquisa encontrados na literatura, abrangendo ampla faixa de condições de crescimento (Tabela 2). De acordo com esses autores, a classificação das culturas quanto à sensibilidade ao estresse hídrico (Ky) pode ser feita em quatro categorias: baixo ($Ky < 0,85$); baixo/médio ($0,85 < Ky < 1,00$); médio/alto ($1,00 < Ky < 1,15$) e alto ($Ky > 1,15$).

De acordo com o modelo apresentado por Stewart et al. (1977) é possível estimar a produtividade de uma cultura em resposta a diferentes quantidades de água aplicada, sendo necessário, para tanto, se conhecer o coeficiente de resposta da cultura ao déficit hídrico (Ky).

Tabela 2 - Coeficiente de resposta da cultura (Ky) para o período total de crescimento e para os diferentes estádios de desenvolvimento das culturas de milho, soja, sorgo e trigo

Cultura	Estádios de desenvolvimento					Ciclo
	I	II	III	IV	V	
Milho	0,4	0,9	1,5	0,5	0,2	0,7
Soja	0,2	0,5	0,8	1	0,8	0,8
Sorgo	0,2	0,2	0,9	0,9	0,2	0,9
Trigo	0,2	0,6	0,75	0,5	0,2	1,05

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979)

Segundo Doorenbos e Kassam (1994) a resposta da cultura em rendimento produtivo, ao suprimento de água, é quantificada através do fator de resposta da cultura (Ky) que relaciona a queda de rendimento relativo ($1 - Y_r / Y_m$) com o déficit de evapotranspiração relativa ($1 - E_{Tr} / E_{Tm}$).

O rendimento máximo da cultura (Y_m) é aquele obtido de uma variedade altamente produtiva e bem adaptada ao respectivo ambiente de crescimento, em condições tais que não haja limitação de fatores como água, nutrientes, pragas e doenças, durante todo o período, até o seu amadurecimento (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Em geral, a diminuição na produtividade, devido a déficit de água durante o período vegetativo e de maturação é relativamente pequena, enquanto durante o florescimento e os períodos de formação da produtividade será grande (ALLEN et al., 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ – USP) (Figura1), na cidade de Piracicaba, no Departamento de Engenharia de Biosistemas, com as seguintes coordenadas geográficas: 22° 41’ 58” de latitude Sul; 47° 38’ 42” de longitude Oeste e aproximadamente 511m de altitude.

Figura 1 - Localização e vista interna do experimento

3.2 Características edafoclimáticas do local do experimento

O clima da região é do tipo (Cwa), subtropical úmido, conforme classificação de Köppen. Com temperaturas médias de 22° C nos meses mais quentes e 18° C nos meses mais frios. A temperatura média anual é de 21,4 °C e precipitação pluviométrica total de 1.257 mm.

O solo utilizado foi classificado no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia de Biosistemas (ESALQ-USP) como Franco Arenoso. A análise química do solo encontra-se na Tabela 3. Baseando-se nesses resultados e de posse das recomendações do Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997) procedeu-se a interpretação de adubação recomendada para o Estado de São Paulo.

Tabela 3 – Resultado da análise química do solo

pH	M.O.	P	S	Ca	Mg	Al	H + Al	K	SB	CTC	V
CaCl ₂		Resin a	SO ₄ ²⁻								
	mg.kg ⁻¹	---- mg.dm ⁻³ ----					cmol.c.dm ⁻³				%
5,0	14	4	12	17	9	1	25	1,2	27	52	52
Cu	Zn	Fe									
----- mg.dm ⁻³ -----											
0,8	1,7	38									

*Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia de Biossistemas (ESALQ-USP)

A curva característica de retenção de água no solo (Figura 2) foi obtida no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia de Biossistema ESALQ/USP. Para isso foram coletadas amostras de solo indeformadas, utilizando-se o clindro de Uhland, nas profundidades de 0,15, 0,30 e 0,45 m. No laboratório, foi utilizada uma mesa de tensão para as tensões de 10, 20, 40, 60 cm.c.a, e câmaras de Richards para as tensões de 100, 300, 500, 800, 5000 e 15000 cm.c.a. Para a confecção da curva, utilizaram-se os valores de umidade na base de volume correspondentes aos potenciais de água no solo. O ajuste da curva de retenção de água no solo foi obtido de acordo com a metodologia proposta por Van Genuchten (1980) (equação 1). Na Tabela 4 encontram-se os parâmetros da equação.

$$\theta = \theta_r \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\psi_m|)^n]^m} \quad \text{Equação 1}$$

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

θ – umidade volumétrica, em cm³ cm⁻³;

θ_r – umidade volumétrica residual do solo, em cm³.cm⁻³;

θ_s – umidade volumétrica do solo saturado, em cm³.cm⁻³;

n e m – parâmetros de regressão da equação, adimensionais;

α – parâmetro de ajuste do modelo, em cm⁻¹; e

ψ_m – potencial matricial de água no solo, em cm.c.a;

Tabela 4 - Parâmetros da eq. de Van Genuchten

θ_s	θ_r	α	n	m
$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$		cm^{-1}	adimensional	
0,49	0,1	0,0793	1,47	0,297

Figura 2 - Curva de retenção de água no solo (GAVA et al., 2014)

3.3 Caracterização das unidades experimentais

Foi utilizada uma casa de vegetação de 119 m², equipada com 48 caixas com área de 1.30 m² e profundidade de 0,75 m (Figura 3). Em cada caixa foram cultivadas três linhas com três plantas, sendo as extremidades laterais consideradas bordaduras, em virtude da possibilidade de ocorrer condições climáticas adversas. O espaçamento adotado foi de 0,4 m entre linhas, com população média final de 65.000 plantas ha⁻¹.

Figura 3 - Esquema da área experimental

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, com gotejadores autocompensantes (NAAN modelo CPC 20 mm) com vazão de 0,9 L h⁻¹, que foi automatizado por um conjunto de válvulas solenóides ligadas a um conjunto de “timers”, para a diferenciação das lâminas aplicadas nas 48 caixas. Após a montagem do sistema, foi feita a avaliação da uniformidade pela seguinte equação:

$$UE = 100 \left(1 - 1,27 X e^{-0,5 X CV_f} \right) \frac{q_n}{\bar{q}} \quad \text{Equação 3}$$

em que:

UE = Uniformidade de emissão;

e = Número de emissores por planta;

CV_f = Coeficiente de variação de fabricação;

q_n = Média das 25% menores vazões;

q = média das vazões.

Com o intuito de monitorar a umidade solo, foram instalados em todas as caixas, três sensores do tipo TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo), em três profundidades (0,05;0,30 e 0,5 m) e colocados na entrelinha de cultivo da cultura.

Os sensores foram calibrados para as condições experimentais através da relação entre umidade volumétrica e leituras do TDR, que é sensível a constante dielétrica (K_a) e varia conforme a quantidade de água do meio. Esses dados foram coletados durante três meses sendo correlacionados para a obtenção da curva de calibração (Figura 4). Foi utilizado um multiplexador Campbell TDR100 acoplado aos engates dos sensores e a um computador portátil munido do software PCTDR. (Figura 5). As leituras da umidade do solo, para fins de manejo, eram realizadas sempre antes das irrigações.

Figura 4 - Equação de calibração (GAVA et al., 2014)

Figura 5 - Disposição das TDRs e Multiplexador Campbell TDR100

Na casa de vegetação foi instalada uma estação agrometeorológica automática (Figura 7) para a coleta de dados meteorológicos de radiação solar, umidade relativa do ar, temperatura do ar e velocidade do vento. Essa coleta era realizada em intervalos de 10 segundos e suas médias armazenadas a cada 10 minutos, com o auxílio de um sistema de aquisição automática de dados datalogger da Campbell Scientific® modelo CR1000. A coleta foi feita em todo ciclo da cultura, permitindo a obtenção de dados climáticos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO-56:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

ET_o: evapotranspiração de referência, mm.d⁻¹;

R_n: saldo de radiação, MJ.m⁻².d⁻¹;

G: densidade de fluxo de calor no solo, MJ.m⁻².d⁻¹;

T_{med}: temperatura média diária do ar a 2m de altura, °C;

u₂: velocidade do vento média diária a 2m de altura, m.s⁻¹;

e_s: pressão de saturação do vapor média diária, kPa;

e_a: pressão atual de vapor média diária, kPa;

Δ: declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T_{med}, kPa °C⁻¹;

γ: constante psicométrica, kPa °C⁻¹.

Este método é considerado o padrão para condições de campo. Entretanto, em cultivos em ambiente protegido a velocidade do vento a 2 m de altura, na maioria das vezes é muito baixa, mesmo que as aberturas superiores estejam sempre abertas. Dessa maneira, considerou-se para tais condições, uma u₂ de 0,5 m s⁻¹ como recomendado por Allen et al. (1998), melhorando assim a precisão da estimativa da ET_o nas condições de ambiente protegido (u₂ < 0,5 m s⁻¹). Segundo Allen et al. (1998), isso é necessário para explicar os efeitos da instabilidade da camada limite e flutuabilidade do ar que promovem a troca de vapor na superfície quando o ar está calmo. Este efeito ocorre quando a velocidade do vento é baixa e a flutuação de ar quente provoca a troca de ar na superfície. Estabelecendo-se o valor de u₂ igual a 0,5 m s⁻¹ na equação da ET_o, melhora-se a precisão da estimativa nas condições de velocidade do vento baixas (ALLEN et al., 1998).

A estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) do milho, deu-se pelo produto da ET_o com os coeficientes de cultivo (K_c) tabelados pela FAO (Tabela 5).

Tabela 5 - Coeficientes de cultivo da cultura do milho nos estádios de desenvolvimento

Cultura	Estádios de desenvolvimento da cultura				
	I	II	III	IV	V
Milho grãos	0,4	0,8-0,85	1,2	0,8-0,95	0,35

Os valores de Kc's nas fases 1 e 3 são constantes. Já os valores de Kc's nas fases 2 e 4 variam linearmente (Figura 6) entre as fases de valores constantes, e são obtidos pela equação 5:

Figura 6 - Curva kc (ALLEN et al., 1998)

$$Kci = Kcprev + \left[\frac{i - \sum(Lprev)}{Letapa} \right] (Kcprox - Kcprev) \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

i: número do dia dentro da fase de crescimento;

Kci: coeficiente de cultura para o dia i;

Letapa: duração da etapa considerada, dias;

$\sum(Lprev)$: soma das durações das etapas anteriores, dias;

Kcprox: coeficiente de cultura da fase posterior (para a os Kc's da fase IV o

Kcprox=Kc V);

Kcprev: coeficiente de cultura da fase anterior.

Figura 7 - Estação agrometeorológica automática

3.4 Tratamentos e delineamento experimental

Os experimentos foram realizados em blocos casualizados, com 12 tratamentos e 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais (Figura 8). Os tratamentos consistiam na reposição de água evapotranspirada (ET_c) de 150, 100, 50 e 30% aplicadas em 4 subperíodos do ciclo total da cultura (Figura 9). As observações de cada subperíodo foram realizadas conforme metodologia de Fancelli (1986) adaptada de Ritchie et al. (1993), onde: subperíodo 1 (V4 a V8), subperíodo 2 (V8 a Vp), subperíodo 3 (Vp a R1) e subperíodo 4 (R1 a R6).

Para efeito prático de orientação, os tratamentos foram nomeados e sorteados conforme o croqui da Figura 8.

IIIE _{50%}	D _{50%} III	III _{100%}	EEEE _{50%}	IIIE _{50%} I	IID _{50%} I	IE _{50%} II	E _{50%} III	ID _{50%} II	DDDD _{50%}	IIID _{50%}	DDDD _{70%}
III _{100%}	ID _{50%} II	D _{50%} III	DDDD _{50%}	E _{50%} III	EEEE _{50%}	IIID _{50%}	DDDD _{70%}	IIIE _{50%} I	IE _{50%} II	IIIE _{50%}	IID _{50%} I
IIID _{50%}	III _{100%}	IE _{50%} II	IID _{50%} I	IIIE _{50%} I	D _{50%} III	E _{50%} III	IIIE _{50%}	DDDD _{70%}	ID _{50%} II	EEEE _{50%}	DDDD _{50%}
ID _{50%} II	EEEE _{50%}	IIIE _{50%}	IIIE _{50%} I	DDDD _{50%}	D _{50%} III	IIID _{50%}	III _{100%}	E _{50%} III	IID _{50%} I	DDDD _{70%}	IE _{50%} II

Figura 8 - Esquema do sorteio para a disposição dos tratamentos*

Em que:

III_{100%} – Irrigação plena nos 4 subperíodos; **D_{50%} III** – Com déficit apenas no subperíodo 1; **ID_{50%} II** – Com déficit apenas no subperíodo 2; **II D_{50%} I** – Com déficit apenas no subperíodo 3; **III D_{50%}** – Com déficit apenas no subperíodo 4; **DDDD_{50%}** – Com déficit nos 4 subperíodos; **DDDD_{70%}** – Com déficit nos 4 subperíodos; **E_{50%} III** – Com excesso apenas no subperíodo 1; **IE_{50%} II** – Com excesso apenas no subperíodo 2; **II E_{50%} I** – Com excesso apenas no subperíodo 3; **III E_{50%}** – Com excesso apenas no subperíodo 4; **EEE_{150%}** – Com excesso nos 4 subperíodos.

Onde foram aplicados os seguintes tratamentos em cada subperíodo: (I) irrigação plena, (D50) irrigação em déficit de 50%, (D70) irrigação em déficit de 70% e em (E) excesso de 50% da ET_c, em dois anos de cultivo.

Figura 9 - Fenologia do milho: estádios de desenvolvimento da cultura. Adaptado de Fancelli (1986) e Iowa State University Extension (1993). Figura de Weismann (2008).

Antes da semeadura foram realizadas duas irrigações em todas as caixas para deixar a umidade do solo próxima a capacidade de campo (C_c). Logo após a semeadura e germinação, todos os tratamentos foram irrigados com 100% da ET_c com o intuito de garantir o estabelecimento da cultura. Esse processo se repetiu até o subperíodo V3 (3 folhas totalmente expandidas). A partir desse momento fez-se a diferenciação dos tratamentos, e adotou-se um turno de rega (TR) de 4 dias. É importante salientar que no decorrer do ciclo da cultura, em especial, na fase de maior demanda hídrica, o TR foi de 3 dias, devido principalmente ao tratamento com déficit de 70%, pois tal TR inicialmente adotado, poderia levar as plantas a um ponto de murcha permanente (Pmp). Tal situação era prevista e remediada visualmente, por visitas diárias ao local do experimento e pelo manejo da umidade do solo, que era medido frequentemente.

3.5 Graus dias acumulados

O cálculo de graus-dia acumulado (GDA) foi realizado utilizando-se o seguinte método:

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_i - T_B)$$
Equação 6

Sendo:

$$T_i = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2}$$
Equação 7

em que:

T_i - temperatura média diária do ar ($^{\circ}$ C);

$T_{máx}$ - temperatura máxima diária do ar ($^{\circ}$ C);

$T_{mín}$ - temperatura mínima diária do ar ($^{\circ}$ C);

T_b - temperatura basal do milho igual a 10° C (ASSIS et al.,2006)

n - número de dias do período considerado.

3.6 Cultivar utilizada

A cultivar de milho utilizada foi a “IMPACTO” da Syngenta Brasil, que tem como características importantes: excepcional sanidade foliar para as principais doenças; grande tolerância às principais doenças de grãos; proporciona baixos índices de grãos tardios e tem demonstrado grande adaptabilidade a todas as regiões, apresentando elevada produtividade.

3.7 Potencial hídrico foliar

Para determinar o potencial de água na folha ($-\psi_f$) no decorrer do ciclo fenológico da cultura, foram coletadas amostras de folhas de milho da parcela útil, retiradas do terço superior da planta, totalmente expandidas, expostas a radiação solar, sem injúrias e danos mecânicos. Para isso, utilizou-se a técnica da câmara de pressão de Scholander et al. (1964) (Figura 10). Essa técnica mede a diferença de energia obtida entre o processo de transpiração da planta e de absorção de água pelo sistema radicular, os quais são dependentes da umidade do solo.

As folhas cortadas foram colocadas em sacos plásticos e, imediatamente acondicionadas em um recipiente térmico com gelo conforme recomendado por

Melcher et al. (1998). Em seguida foram levadas ao laboratório para o procedimento das medidas.

A câmara de pressão é alimentada com gás comprimido. Após o procedimento descrito, coloca-se a folha na câmara para a pressurização. O observador deve notar o umedecimento da superfície cortada da folha, para em seguida parar a pressurização e verificar no manômetro acoplado à câmara a pressão equivalente ao surgimento do umedecimento.

Figura 10 - Câmara de pressão de Scholander

As medições foram efetuadas a partir do subperíodo 2, totalizando três medições a longo do ciclo nos seguintes tratamentos: IIII, DDDD_{50%}, DDDD_{70%} e EEEE_{50%}, com 4 repetições por tratamento. As medições foram realizadas do amanhecer ao entardecer, das 5:30 às 18:00, em intervalos de 2 em 2 horas : 6h, 8h, 10h, 12h, 14h, 16h e 18h. Essas medições foram realizadas sempre antes da irrigação.

Simultaneamente à medição do potencial de água na folha, foram medidas também, a umidade relativa do ar (UR), temperatura do ar (Tar), temperatura foliar (Tf), por meio de um porômetro portátil, modelo SC-1 da *Decagon Devices*, o qual foi calibrado frequentemente em virtude da variação diária da temperatura e umidade relativa do ar (Figura 11).

Figura 11 - Calibração e medição da temperatura foliar

3.8 Produtividade da água

A produtividade da água (PA) para todos os tratamentos foi calculada relacionando a produtividade de grãos (PG) e a lâmina de água aplicada (Li), utilizando a seguinte expressão (GEERTS; RAES, 2009; LACERDA et al., 2009):

$$EUA = PG/Li$$

Equação 8

Onde:

PG: produção de grão ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Li: lâmina de irrigação (mm)

3.9 Colheita

Após os grãos atingirem a maturidade fisiológica iniciou-se a colheita. Foram realizadas sempre nas primeiras horas do dia, retirando-se todas as plantas das parcelas úteis de todos os tratamentos para posteriormente serem levadas ao laboratório para as avaliações.

3.10 Avaliações biométricas e componentes de produção

As 12 plantas da parcela útil de todas as caixas foram cortadas no nível do solo, para serem avaliados os seguintes parâmetros biométricos:

3.10.1 Altura das plantas (ALP)

A altura das plantas foi determinada do estágio V3 até o dia da colheita. Essas medidas eram feitas periodicamente utilizando-se de uma trena graduada, medindo-se todas as 12 plantas da parcela útil por tratamento, do nível do solo até o ponto de inserção da última folha.

3.10.2 Altura de inserção da espiga (AIE)

Essas foram realizadas do nível do solo até o ponto de inserção da espiga, das 12 plantas da parcela útil por tratamento, utilizando-se de uma trena graduada. Essa variável foi medida no ato da colheita.

3.10.3 Número de espigas por plantas (NEP)

O número de espigas por plantas foi realizado pela contagem manual das espigas das 12 plantas da parcela útil por tratamento.

3.10.4 Peso da espiga com palha (PEP)

O peso da espiga com palha foi determinado logo após sua retirada da planta e pesada em uma balança de precisão de 3 dígitos.

3.10.5 Peso da espiga despalhada (PES)

O peso da espiga despalhada foi determinado logo após a retirada da palha e pesada em uma balança de precisão de 3 dígitos.

3.10.6 Número de grãos por espiga (N.grãos)

O número de grãos por espiga foi determinado após se despallar e debulhar todas as espigas da parcela útil de cada tratamento e em seguida feita a contagem manual.

3.10.7 Número de fileiras de grãos por espiga (NFG)

O número de fileiras de grãos por espiga foi determinado logo após se despallar todas as espigas de todas as plantas das parcelas úteis por tratamento.

3.10.8 Tamanho da espiga (TE)

Foi determinado com um paquímetro digital. Essa variável foi medida no ato da colheita.

3.10.9 Diâmetro da espiga (DE)

O diâmetro da espiga foi determinado com um paquímetro digital.

3.10.10 Diâmetro do sabugo (DS)

O diâmetro da espiga foi determinado com um paquímetro digital.

3.10.11 Número de estre-nós (NE)

O número de entre-nós foi determinado pela contagem manual.

3.10.12 Produtividade (PG)

A produtividade foi obtida após se debulhar as espigas das 12 plantas da parcela útil por tratamento e feita a pesagem dos grãos com uma balança de precisão. Em seguida, feita a correção da umidade a 13% e extrapolação do resultado para Kg.Ha^{-1} .

4 COEFICIENTE DE RESPOSTA DA CULTURA AO DÉFICIT HÍDRICO (KY)

A quantificação dos efeitos do estresse hídrico nas diversas fases fenológicas da cultura, foi feita calculando-se o coeficiente de resposta da planta ao déficit hídrico (Ky), utilizando a função empírica descrita por Doorenbos e Kassam (1994), que leva em conta a relação entre a redução do rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração:

$$Ky = \frac{[1 - (\frac{Y_r}{Y_m})]}{[1 - (\frac{ET_r}{ET_m})]} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

Ky = fator de sensibilidade para cada estágio ou fase fenológica do milho;

Yr = rendimento real da cultura obtido nos tratamentos submetidos ao estresse hídrico

Ym = rendimento máximo da cultura obtido no tratamento, que não sofreu estresse hídrico;

ETr = evapotranspiração real da cultura obtida nos tratamentos submetidos a estresse hídrico;

ETm = evapotranspiração máxima da cultura obtida no tratamento sem estresse.

5 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Os dados experimentais de cada colheita (dois experimentos) foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO-WILK, 1965) ($P > 0,01$) para verificação básica da normalidade e homocedasticidade residuais, seguidos de transformações caso fossem necessárias. Em seguida foram realizadas as análises de variância individual de cada experimento aplicando-se o teste F e desdobrando as análises sempre que a interação fosse significativa. Essa análise fornece informações da possibilidade de se realizar uma análise conjunta dos dois experimentos, onde alguns critérios podem ser seguidos, sendo que o mais recomendado é examinar as grandezas dos quadrados médios dos resíduos de cada experimento. Quando a razão entre essas grandezas não ultrapassa a relação 4:1, pode-se proceder a análise de variância conjunta. Quando foi permitido se fazer a análise conjunta dos experimentos os dados foram analisados conjuntamente por meio de regressão polinomial (linear e quadrática que se mostrarem significativas pelo teste F da ANOVA) e teste de comparação múltiplas de médias pelo método de Tukey ao nível de significância de 1 e 5%. Quando não, as análises foram realizadas para cada experimento individualmente, por regressão ou teste de médias dependendo da variável analisada.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Monitoramento agrometeorológico no interior do ambiente protegido

Verifica-se no Figura 12 a variação das temperaturas médias, máximas e mínimas, as temperaturas basais superior e inferior (linhas horizontais pontilhadas) e o somatório térmico necessário para que a cultura completasse seu ciclo total no experimento 1. Em todo ciclo, as temperaturas médias diárias sempre estiveram entre as temperaturas basais inferior e superior, oscilando sempre entre 26° e 21 °C, com média do ciclo de 20,80 °C. As temperaturas máxima e mínima registradas no decorrer do ciclo foram de 39,8 e 5,1 °C respectivamente. Para a cultura do milho a temperatura basal inferior é de 10°C segundo Assis et al.,(2006) e a superior de 45 °C. Segundo Ometto (1981), existe uma temperatura mínima para acionar os dispositivos metabólicos da planta, que é denominada de temperatura basal inferior (Tb). Somente acima desta temperatura a planta pode se desenvolver. O mesmo autor ressalta, contudo, que a planta também possui uma temperatura basal superior (TB), acima da qual há um estancamento das atividades metabólicas, prejudicando seu desenvolvimento.

Durante a realização do experimento pode-se inferir que a temperatura do ar foi adequada, uma vez que segundo Didonet et al. (2002) a cultura do milho produz satisfatoriamente com temperaturas médias entre 18 e 25°C.

Do início do plantio até a colheita (137dias) foram necessários 1413,0 graus dias acumulados (GDA) para o desenvolvimento total da cultura. Importante salientar que, devido aos diferentes tratamentos impostos no decorrer do ciclo, houve uma pequena diferença para a determinação do momento de colheita, bem como a verificação de entrada ou saída de uma fase fenológica qualquer.

Figura 12 - Temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), Graus dias acumulados (GDA), referente ao ciclo da cultura no experimento I.

A variação da umidade relativa média (URm) no decorrer do ciclo da cultura no experimento 1, oscilou entre 56 e 97%. A variação da radiação global ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) ao longo do ciclo esteve entre 2,3 e $23,72 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, com média de $10,32 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ no ciclo total (ANEXOS).

No Figura 13 encontra-se a variação das temperaturas médias, máximas e mínimas, e o somatório térmico necessário para que a cultura completasse seu ciclo total no experimento 2. As temperaturas médias, assim como no experimento 1, sempre estiveram entre as temperaturas basais inferior e superior, oscilando entre 11,2 e $28,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com média no ciclo todo de $21,77 \text{ }^{\circ}\text{C}$. As temperaturas máxima e mínima registradas no decorrer do ciclo foram de $37,24$ e $6,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Diferentemente do experimento 1, foi necessária uma soma térmica maior ($1444,5 \text{ GDA}$) para que a cultura completasse todo seu ciclo fenológico em 145 dias. Essa diferença de um de ciclo para o outro, pode ser explicada devido ao registo de temperaturas mínimas abaixo da temperatura basal inferior do 47° ao 59° dia, 67° ao 76° dia e do 88° ao 94° dia, o que pode ter retardado um pouco o tempo de maturação fisiológica da cultura.

Figura 13 - Temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), Graus dias acumulados (GDA), referente ao ciclo da cultura no experimento II.

6.2 Produtividade, peso da espiga com palha e peso da espiga sem palha.

Encontram-se na Tabela 6, as análises de variâncias individuais de cada experimento para as variáveis produtividade (PG), peso da espiga com palha (PEP) e peso da espiga despilhada (PES) no intuito de diagnosticar os quadrados médios dos resíduos para possibilidade de se analisar essas variáveis conjuntamente, uma vez que essas variâncias devem ser homogêneas, ou seja, a razão entre o maior e o menor quadrado médio dos resíduos dos experimentos devem ser inferiores a razão 4:1 de acordo com Barbin (2003), sendo assim, procede-se a análise conjunta. As relações entre os quadrados médios dos resíduos para as variáveis PG, PEP e PES foram 1,14; 1,16 e 1,66, respectivamente, revelando variâncias residuais homogêneas, possibilitando a análise conjunta. Foi observado efeito significativo para PG, PEP e PES, indicando que houve influência das lâminas de água aplicada durante o ciclo da cultura, ou seja, responderam de forma diferente aos tratamentos impostos.

Os coeficientes de variação (C.V%) em ambos os experimentos para essas três variáveis analisadas, estiveram no intervalo de 10 a 20%, o que segundo Pimentel Gomes (2000) são classificados como experimentos de boa precisão. De

acordo com esse mesmo autor, quanto menor o erro experimental, menor será o coeficiente de variação experimental e, conseqüentemente, maior precisão dos experimentos.

Tabela 6- Resumo da análise de variância individual do experimento 1 (Exp1) e experimento 2 (Exp2) para as variáveis PG, PEP e PES para a verificação das grandezas dos quadrados médio dos resíduos

Fator de variação	G.L	Quadrado Médio					
		PG (Kg ha ⁻¹)		PEP.Planta		PES.Planta	
		Exp1	Exp2	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2
Blocos	3	733,07 ^{ns}	2604,6 ^{**}	3499,18 ^{ns}	7729,7 ^{**}	1776,02 ^{ns}	7729,6 ^{**}
Tratamentos	11	2538,75 ^{**}	4739,27 ^{**}	6687,48 ^{**}	7326,46 ^{**}	4731,7 ^{**}	7326,46 ^{**}
Resíduos	33	300,20	344,48	682,70	584,33	351,14	584,1
	M.G	116,39	130,40	171,60	192,83	148,12	164,4
	C.V(%)	14,69	14,23	15,22	13,84	12,57	14,69

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); PG- produtividade; PEP- peso da espiga com palha; PES- peso da espiga despilhada; M.G- média geral; C.V- coeficiente de variação; G.L- graus de liberdade

Na Tabela 7 encontra-se o resumo da análise de variância conjunta para as variáveis PG, PEP e PES. Verifica-se que houve diferença significativa a nível de 1% de probabilidade para os tratamentos nessas três variáveis, o que indica a influência das diferentes lâminas no comportamento das variáveis estudadas. Mostrou também, haver diferença significativa na interação tratamento x experimento, indicando comportamento diferenciado dos tratamentos nos dois experimentos a 5% de probabilidade. Sendo assim, a análise dos tratamentos impostos foi realizada individualmente para cada experimento, uma vez que a cultura respondeu de maneira diferente em cada experimento, não sendo interessante uma análise mais generalizada.

Tabela 7- Resumo da análise de variância conjunta dos experimentos para as variáveis PG, PEP e PES

	GL	Quadrado Médio		
		PG (kg ha ⁻¹)	PEP.Planta	PES.Planta
Bloco dentro Experimento	6	-	-	-
Tratamentos	11	6513,96 ^{**}	12765,68 ^{**}	11081,22 ^{**}
Experimentos	1	4595,06 [*]	1240,69 ^{ns}	6554,01 [*]
Interação T*E	11	764,07 [*]	1248,27 [*]	976,64 [*]
Resíduo	66	322,32	633,42	467,62
Total	95	116002,12	230886,5	198570,6

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); PG- produtividade; PEP- peso da espiga com palha; PES- peso da espiga despilhada; G.L- graus de liberdade

Na Tabela 8 encontra-se o teste de médias de Tukey para as variáveis produtividade (PG), peso da espiga com palha (PEP) e o peso da espiga despalhada (PES). Todas as variáveis se diferenciaram significativamente em ambos os experimentos para alguns tratamentos estudados. Nos tratamentos impostos no ciclo total da cultura (IIII, D50, D70 e EEEE) houve diferença significativa para as três variáveis. Para os tratamentos de déficit e excesso impostos em determinadas fases fenológicas, verificou-se diferença significativa para PG, PEP e PES no experimento 2 quanto aos tratamentos DIII, IDII, IIDI e IIID. Quanto os tratamentos de excesso (EIII, IEII, IIEI e IIIE) não foi verificada nenhuma diferença significativa para essas variáveis.

Verifica-se que o tratamento que causou menor produtividade, foi aquele de maior restrição hídrica (D70) no ciclo total da cultura em ambos os experimentos, obtendo produtividade de 3459,5 kg ha⁻¹ no experimento 1 e 3332,6 kg ha⁻¹ no experimento 2. Essa lâmina de déficit reduziu a produtividade em 61 e 64%, no experimento 1 e 2, respectivamente. O outro tratamento com déficit hídrico em todo ciclo (D50), obteve produtividade de 6510,4 e 6468,2 kg ha⁻¹, no experimento 1 e 2 respectivamente, com redução de produtividade de 26,8 e 31%. Essa redução na produtividade também foi encontrada por Farré et al. (2006), onde obtiveram uma redução de 82% na produtividade quando a cultura foi submetida a déficit hídrico, onde a produtividade alcançou 1950 kg ha⁻¹ (não irrigada) nessas condições e 10820 Kg ha⁻¹ quando se supria as necessidades hídricas da cultura, em experimento realizado em Zaragoza, Espanha.

É importante salientar que, além de não haver o suprimento das necessidades hídricas para o desenvolvimento da cultura, os tratamentos com déficit hídrico podem também, inviabilizar a disponibilidade de alguns nutrientes básicos ao seu desenvolvimento, uma vez que esses nutrientes são melhor absorvidos pelas raízes das plantas em meio aquoso.

Bergamaschi et al. (2006) trabalhando com milho irrigado no município de Eldorado do Sul, RS, obtiveram para o híbrido Pioneer 3230 produtividades máximas de 11.759,00 kg ha⁻¹. Os mesmos autores avaliaram ainda a influência do déficit hídrico nos componentes da produtividade, estudando diferentes híbridos, e constataram que todos foram afetados pela falta de água, resultando na perda de produtividade de grãos superior a 20% ou 1.983 kg ha⁻¹. Entretanto, alguns híbridos de milho têm maior sensibilidade ao déficit hídrico, por exemplo, os materiais

Pioneer 3230, 3063 e 32R21 apresentaram redução de produtividade na ordem de 44, 29 e 25%, respectivamente, quando comparado a ausência de deficiência hídrica

Gava et al. (2014) nessas mesmas condições, em dois experimentos com soja intercalado com o presente experimento, verificou queda de rendimento de 38% quando a cultura foi submetida a uma restrição hídrica de 50%.

Analisando os déficits hídricos nas quatro fases fenológicas estudadas (DIII, IDII, IID I e IID) verifica-se que os tratamentos que mais prejuízos causaram foram os de restrição hídrica de 50% na fase de pendoamento e floração da cultura. No experimento 1, a maior queda de rendimento (29,3%) foi observada na fase de pendoamento da cultura. Na fase de floração a queda de produtividade foi de 20,5%, o que equivalem a um decréscimo de 2604 e 1822 kg ha⁻¹, respectivamente. No experimento 2, para essas mesmas fases, a queda de rendimento foi de 15,9% (1493 kg ha⁻¹) e 31,7% (2977kg ha⁻¹), respectivamente. Esses resultados corroboram com pesquisas que relatam o efeito diferenciado do déficit hídrico conforme o estágio de desenvolvimento da cultura.

De acordo com Fancelli (1994) a deficiência hídrica no estágio do pendoamento pode provocar queda de produção de 40% a 50 %, resultados um pouco acima do presente estudo. Bergamaschi et al. (2004) constataram que pode haver redução de produção mesmo em anos onde as condições climáticas sejam favoráveis, se ocorrer déficit hídrico no período crítico. Os autores observaram redução de 25% e 50% da produtividade quando o déficit hídrico ocorreu na emissão dos estigmas e no florescimento, respectivamente, resultado próximo ao do presente estudo. Isso demonstra que os processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento das culturas, têm estreita relação com a disponibilidade de água para a mesma, a falta ou excesso, influenciam de sobremaneira o produto final.

O tratamento de déficit hídrico imposto na fase vegetativa da cultura (DIII), que é a fase em que ainda não estão sendo formados os componentes de rendimento e os efeitos do déficit hídrico sobre a produção são mais atenuados, obtiveram produtividade e 8005,4 e 9678,5 kg ha⁻¹ em ambos os experimentos, com decréscimo de produtividade de 10% (892,5 kg ha⁻¹) no experimento 1. Quanto ao experimento 2, não houve queda de rendimento, e sim um pequeno incremento de produtividade quando comparada com a produção do tratamento com irrigação plena (testemunha) o qual obteve um produtividade de 9391,9 kg ha⁻¹. Uma explicação que pode ser dada é que, quando a cultura sofre um estresse por déficit

hídrico nessa fase, a planta pode se adaptar se houver um suprimento hídrico favorável nas fases fenológicas seguintes, principalmente no período crítico do seu desenvolvimento, que culmina na fase de floração da cultura.

Os tratamentos com excesso hídrico nas quatro fases estudadas não causaram efeito significativo para essas variáveis em ambos os experimentos, causando os maiores percentuais de produtividade, principalmente quando excesso se deu na fase de pendoamento (IEII). Para esse tratamento no experimento 1 a produção foi de 9196,2 kg ha⁻¹, com um incremento de produtividade de 297,8 kg ha⁻¹. Já no experimento 2 o incremento foi de 1366,9 kg ha⁻¹. Constatando-se que o excesso hídrico para essas condições não causou danos a cultura, o que vai de encontro a Magalhães (2006), que observou durante estádios iniciais até V5 onde o ponto de crescimento está abaixo da superfície do solo, que alta umidade pode causar morte das plantas, no início da fase reprodutiva o excesso de água inviabiliza os grãos de pólen do milho.

Tabela 8 - Diferenças significativas dos valores médios de produtividade (PG), peso da espiga com palha (PEP) e peso da espiga despilhada (PES) nos experimentos 1 e 2, referente aos tratamentos estudados

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)		PEP(g.planta)		PES (g.planta)	
	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2
IIII	8898,4 ^{ab}	9391,9 ^{ab}	207,78 ^{ab}	210,95 ^{ab}	169,28 ^{ab}	170,33 ^{abcd}
D70	3459,5 ^c	3332,6 ^c	69,40 ^d	62,63 ^d	60,6 ^d	62,63 ^e
D50	6510,4 ^{ab}	6468,2 ^b	139,50 ^c	165,99 ^{bc}	119,66 ^c	144,69 ^{cd}
EEEE	8833,5 ^{ab}	10364,9 ^a	210,80 ^{ab}	241,43 ^a	177,79 ^a	205,49 ^{ab}
DIIII	8005,4 ^{ab}	9678,5 ^a	174,87 ^{abc}	223,02 ^{ab}	177,10 ^a	187,03 ^{abc}
IDII	6290,7 ^b	7891,7 ^{ab}	148,31 ^{bc}	179,27 ^{abc}	129,00 ^{bc}	153,24 ^{abcd}
IIDI	7072,0 ^{ab}	6410,3 ^b	163,28 ^{abc}	139,57 ^c	135,90 ^{abc}	119,21 ^{de}
IIID	8255,7 ^{ab}	7768,8 ^{ab}	175,65 ^{abc}	173,13 ^{bc}	151,42 ^{abc}	145,57 ^{bcd}
EIII	8634,6 ^{ab}	10448,8 ^a	197,21 ^{abc}	241,53 ^a	169,17 ^{ab}	210,46 ^a
IEII	9196,2 ^a	10758,8 ^a	213,72 ^a	226,91 ^{ab}	175,00 ^{ab}	193,57 ^{abc}
IIEI	6983,6 ^{ab}	10596,3 ^a	158,92 ^{abc}	226,01 ^{ab}	138,15 ^{abc}	202,63 ^{abc}
IIIE	8775,7 ^{ab}	8598,2 ^{ab}	200,59 ^{abc}	216,90 ^{ab}	172,33 ^{ab}	178,92 ^{abcd}
dms	2757	2993	64,84	66,23	46,19	59,98

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. dms – diferença média significativa

Ainda na Tabela 8 verifica-se que as variáveis peso da espiga com palha (PEP) e peso da espiga despilhada (PES) diferiram estatisticamente nos tratamentos com déficit e excesso no ciclo total da cultura. Para os tratamentos de déficit e excesso em fases fenológicas específicas, foi verificada diferença do PEP nos tratamentos com déficit no segundo experimento e PES nos dois experimentos.

Os tratamentos de 50 e 70% déficit hídrico no ciclo total ocasionaram os maiores prejuízos para essas duas variáveis.

6.3 Altura de inserção da espiga, números de grãos e altura de planta

Na Tabela 9 encontra-se o resumo da análise de variância individual dos dois experimentos para as variáveis altura de inserção da espiga (ALT.I), número de grãos (Ngrãos) e altura de planta (ALT). Os coeficientes de variação, inferiores a 15% para todas as variáveis nos dois experimentos, indicam boa precisão experimental. Verifica-se que a altura de inserção da espiga (ALT.I) não diferiu estatisticamente em ambos os experimentos para os tratamentos estudados. O estudo dessa variável geralmente está relacionado a possibilidade de acamamento da cultura, uma vez que, segundo Siqueira et al. (2009), quanto mais alta estiver, mais suscetível a planta está ao acamamento. Por outro lado, Campos et al. (2010) estudando relação da altura de planta e inserção da espiga com acamamento de quarenta e nove cultivares comerciais, não observaram nenhuma relação entre altura de planta e inserção de espiga com as taxas de acamamento, o que corrobora com presente estudo, onde não foi verificada nenhuma ocorrência de acamamento no decorrer do ciclo da cultura.

O número de grãos (Ngrãos) e a altura de planta (ALT) diferenciaram-se estatisticamente para os tratamentos, exceto para o experimento 1, onde não se constatou diferença para a altura de planta.

O resultado da relação dos quadrados médios residuais demonstraram variâncias homogêneas uma vez que a relação 4:1 não foi excedida. Possibilitando a análise conjunta.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância individual do experimento 1 (Exp1) e experimento 2 (Exp2) para as variáveis ALT.I, Ngrão e ALT para a verificação das grandezas dos quadrados médio dos resíduos

Fator de variação	G.L	Quadrado Médio					
		ALT.I		Ngrãos		ALT	
		Exp1	Exp2	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2
Blocos	3	283,2*	91,95 ^{ns}	1271,27 ^{ns}	2636,9 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,0176 ^{ns}
Tratamentos	11	42,44 ^{ns}	36,89 ^{ns}	7265,98**	10968,2**	0,017 ^{ns}	0,0162**
Resíduos	33	37,04	39,68	1684115	2461,5	0,010	0,0067
	M.G	86,17	100,6	340	397	1,99	2,25
	C.V(%)	7,06	6,26	12,22	12,49	5,15	3,64

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); ALT.I- Altura de inserção da espiga; Ngrãos- número de grãos; ALT.- Altura da planta; M.G- média geral; C.V- coeficiente de variação; G.L- graus de liberdade

O resumo da análise de variância conjunta para as variáveis ALT.I, Ngrãos e ALT encontra-se na Tabela 10, onde o Ngrão e ALT obtiveram diferença significativa para tratamentos e experimentos. Para a interação tratamento x experimento não houve diferença significativa para ALT.I e ALT, indicando que essas variáveis responderam de maneira semelhante aos tratamentos impostos nos dois experimentos, o que possibilita a utilização dos dados médios dos dois experimentos para o teste de Tukey.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância conjunta dos experimentos para as variáveis ALT.I, Ngrão e ALT.

	GL	Quadrados médios		
		ALT.I	Ngrãos	ALT
Blocos dentro Experimento	6	-	-	-
Tratamentos	11	40,66 ^{ns}	13813,6*	0,02773*
Experimentos	1	977,39**	80271,3**	1,68328*
Interação T*E	11	38,67 ^{ns}	4420,58*	0,00628 ^{ns}
Resíduo	66	38,71	2072,81	0,00864
Total	95	5528,011733	429378	2,71

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); ALT.I- Altura de inserção da espiga; Ngrãos- número de grãos; ALT- Altura da planta; G.L- graus de liberdade

Para o Ngrãos, a interação tratamento x experimento foi significativa, procedendo-se assim, uma análise individual de cada experimento (teste de média), que se encontra na Tabela 12.

Verifica-se na Tabela 11 que a altura de inserção da espiga não respondeu aos tratamentos nos dois experimentos e nem para os valores médios dos mesmos, o que já era de se esperar, pois na análise de variância conjunta para “tratamentos”, não houve efeito significativo. A menor média para essa variável foi encontrada no

tratamento com déficit hídrico na fase de floração, 93,80 cm. Os valores para todos os tratamentos variaram de 93,8 a 102,4 cm.

Houve diferença significativa para a altura de planta quando se utilizou os valores médios dos experimentos, onde as menores alturas (1,98 e 2,07 m) foram encontradas nos tratamentos com restrição hídrica no ciclo total da cultura (D70 e D50). Os maiores valores foram encontrados nos tratamentos com excesso, tanto no ciclo total como em fases fenológicas específicas, variando de 2,15 à 2,19 m. Segundo Silva (2000), plantas mais altas, resultam em maiores alturas de inserção da espiga, o que é de concordância com o presente estudo. Ainda, segundo Mello et al. (2004) a altura de planta possui forte ligação com a produtividade de massa seca, sendo importante assim o seu estudo.

Parizi (2007) estudando o efeito de diferentes estratégias de irrigação na cultura do milho, utilizando manejo via clima, com base em lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ciclo vital da cultura, sendo 60, 80, 100 e 120% do valor da evapotranspiração de referência (ETo), obteve altura de planta de 2,6 m com 80% da ETo e 2,4 m com 60% da ETo , valores superiores ao do presente estudo, no entanto, se assemelham quanto diminuição da altura conforme se intensifica o déficit hídrico.

Tabela 11- Diferenças significativas dos valores médios de altura de inserção da espiga (ALT.I) e altura de planta (ALT) dos experimentos

Tratamentos	ALT.I (cm)			ALT(m)		
	Exp1	Exp2	Média	Exp1	Exp2	Média
III	93,16 ^a	100,6 ^a	96,90 ^a	2,13 ^a	2,22 ^{ab}	2,10 ^{ab}
D70	98,01 ^a	97,83 ^a	97,90 ^a	1,84 ^a	2,11 ^b	1,98 ^b
D50	87,91 ^a	99,83 ^a	93,80 ^a	1,89 ^a	2,25 ^{ab}	2,07 ^{ab}
EEEE	94,33 ^a	103,66 ^a	99,00 ^a	2,03 ^a	2,28 ^{ab}	2,15 ^{ab}
DI	91,66 ^a	103,63 ^a	97,60 ^a	2,00 ^a	2,24 ^{ab}	2,12 ^{ab}
ID	91,83 ^a	104,58 ^a	98,20 ^a	2,03 ^a	2,27 ^{ab}	2,15 ^{ab}
II	93,16 ^a	97,58 ^a	95,30 ^a	1,95 ^a	2,19 ^{ab}	2,07 ^{ab}
IID	94,49 ^a	96,50 ^a	95,50 ^a	2,01 ^a	2,22 ^{ab}	2,11 ^{ab}
EII	96,58 ^a	102,50 ^a	99,50 ^a	2,09 ^a	2,27 ^{ab}	2,18 ^a
IE	100,66 ^a	104,16 ^a	102,40 ^a	2,03 ^a	2,36 ^a	2,19 ^a
IEI	94,08 ^a	100,16 ^a	97,10 ^a	1,97 ^a	2,29 ^{ab}	2,13 ^{ab}
IIIE	95,25 ^a	96,58 ^a	95,90 ^a	1,99 ^a	2,32 ^a	2,15 ^{ab}
Dms	15,10	15,63	10,25	0,25	0,20	0,18
C.V(%)	4,24			3,46		

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.
Dms – diferença média significativa

Na Tabela 12 estão os valores médios de cada tratamento nos dois experimentos para o número de grãos por espiga (Ngrãos), onde se constatou diferenças significativas, com menores médias para os tratamentos D50 e D70 em ambos os experimentos. Parizi (2007) verificou que o maior número de grãos por espiga foi obtido no tratamento com suplementação de 100% da ET_c, com uma média de 411,52 grãos.espiga⁻¹ e o menor número foi no tratamento sem irrigação com média de 340,60 grãos.espiga⁻¹, resultado próximo ao do presente trabalho. Uma explicação que pode ser dada é que, segundo Durães et al. (2004), o estresse hídrico na cultura do milho antes/durante o florescimento, causa o retardamento no florescimento feminino e consequentemente, aumento na duração do intervalo entre o florescimento masculino e feminino, em dias. O assincronismo entre florescimentos masculino e feminino tem sido associado com um decréscimo no rendimento de grãos sob seca.

Por outro lado, Zimmerman (2001) trabalhando com algumas cultivares de milho em plantio direto e sob irrigação, com população média de 65,741 plantas.ha⁻¹, obteve média de 450 grãos.espiga⁻¹. Sob déficit hídrico obtiveram média de 268

grãos.espiga⁻¹, sendo que esta não diferenciou estatisticamente dos dados obtidos do milho sob irrigação.

Tabela 12 - Valores médios do número de grãos (Ngrãos) nos experimentos 1 e 2

Tratamentos	N.grãos	
	Exp1	Exp2
IIII	378 ^{ab}	405 ^{ab}
D70	293 ^{abc}	300 ^b
D50	274 ^c	341 ^{ab}
EEEE	386 ^{ab}	457 ^a
DIIII	341 ^{abc}	447 ^a
IDII	291 ^{bc}	373 ^{ab}
IIDI	309 ^{abc}	375 ^{ab}
IIID	353 ^{abc}	348 ^{ab}
EIII	378 ^{ab}	447 ^a
IEII	367 ^{abc}	445 ^a
IIEI	306 ^{abc}	441 ^a
IIIE	396 ^a	376 ^{ab}
DMS	103	123

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. DMS – diferença média significativa

6.4 Tamanho da espiga, número de fileiras de grãos e número de entrenós

Na análise individual do tamanho de espiga (TE), número de fileiras de grão (NFG) e número de entrenós (NE) verificou-se diferença significativa para TE nos dois experimentos e para a variável NFG apenas no experimento 1 (Tabela13). Os coeficientes de variação estiveram sempre abaixo de 10% caracterizando boa precisão experimental. A variável TE, segundo Kappes et al. (2009), é uma das características que pode interferir, diretamente, no número de grão por fileira, e consequentemente, na produtividade da cultura do milho, tornando-se desse modo importante a sua avaliação. O NE não respondeu de forma diferente aos tratamentos estudados em ambos os experimentos.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância individual do experimento 1 (Exp1) e experimento 2 (Exp2) para as variáveis TE, NFG e NE para a verificação das grandezas dos quadrados médio dos resíduos

Fator de variação	G.L	Quadrado Médio					
		TE		NFG		NE	
		Exp1	Exp2	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2
Blocos	3	717,69 ^{ns}	1008,01 ^{**}	1,39 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,0,40 ^{ns}
Tratamentos	11	183,12 ^{**}	644,25 ^{**}	2,09 ^{**}	0,32 ^{ns}	0,059 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Resíduos	33	136,62	95,38	0,66	0,58	0,31	0,334
	M.G	123,9	132,8	15,63	15,11	12,68	12,88
	C.V(%)	9,4	7,35	5,21	5,05	3,89	4,17

^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{*} significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); TE- tamanho da espiga; NFG- fileiras de grãos; NE- número de entrenós; M.G- média geral; C.V- coeficiente de variação; G.L- graus de liberdade

A relação entre os maiores e menores quadrados médios dos resíduos para essas três variáveis em ambos os experimentos (TE=1,43; NFG=1,13 e NE=1,07) possibilitaram analisa-las conjuntamente, por não ultrapassarem a relação 4:1 (variâncias homogêneas).

Na Tabela 14 encontra-se o resumo da análise de variância conjunta para essas três variáveis. Para a variável TE, houve diferença entre os tratamentos a 5% de probabilidade. Para NFG e NE não houve diferença significativa, ou seja, os tratamentos não obtiveram diferença entre si em relação a essas duas variáveis. Quanto a interação tratamento x experimento, verifica-se diferença significativa para TE e NFG; obtendo respostas diferentes aos tratamentos nos experimentos, sendo mais viável se fazer um teste de médias para cada experimento. A variável NE respondeu de maneira semelhante aos tratamentos impostos nos dois experimentos, uma vez que a interação tratamento x experimento não foi significativa, podendo-se assim utilizar os dados médios dos experimentos para o teste de Tukey.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância conjunta dos experimentos para as variáveis TE, NFG, e NE.

	GL	Quadrado médio		
		T.E	NFG	N.E
Bloco dentro experimento	6	-	-	-
Tratamentos	11	1499,11 [*]	1,14 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Experimentos	1	1968,88 [*]	6,16 [*]	1,04 ^{ns}
Interação T*E	11	226,59 [*]	1,26 [*]	0,49 ^{ns}
Resíduo	66	116,00	0,64	0,32
Total	95			

^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{*} significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); TE- tamanho da espiga; NFG- fileiras de grãos; NE.- número de entrenós; G.L- graus de liberdade

Na Tabela 15 encontra-se o teste de médias para as variáveis TE e NFG para os dois experimentos. Verifica-se que houveram diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey nos experimentos 1 e 2, exceto para a variável NFG no experimento 2. Sousa (2012) identificando 30 genótipos de milho tolerantes ao déficit hídrico, também verificou diferença significativa quanto ao tamanho da espiga. Observou uma redução nessa variável de 7,4%, com média de 16,15 cm sob condição de déficit hídrico e 17,44 cm em condições de irrigação plena. Médias essas que são superiores às do presente estudo.

Verifica-se que para a variável TE, o déficit hídrico em todo o ciclo e em fases fenológicas específicas, causaram maiores efeitos negativos do que o excesso hídrico nos dois experimentos. Ben et al. (2014) estudando a resposta na produção do milho safrinha com diferentes reposições de água de irrigação, também verificaram maior efeito negativo do déficit hídrico para essa variável do que o excesso hídrico, com comprimento de espiga variado de 7,8 a 9,4cm nos tratamentos com déficit, e 10,1cm no tratamento de reposição de 100% da evapotranspiração da cultura.

Tabela 15 - Valores médios do tamanho da espiga (TE) e número de fileiras de grãos (NFG)

Tratamentos	TE		NFG	
	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2
IIII	141,1 ^a	135,66 ^{abc}	15,5 ^{ab}	15,3 ^a
D70	93,6 ^c	94,4 ^d	14,8 ^b	14,92 ^a
D50	109,06 ^{bc}	126,2 ^{abc}	15,6 ^{ab}	14,6 ^a
EEEE	134,09 ^{ab}	147,58 ^{ab}	15,9 ^{ab}	15,41 ^a
DIIII	125,98 ^{ab}	143,34 ^{ab}	16 ^{ab}	15,3 ^a
IDII	112,17 ^{abc}	126,73 ^{abc}	15,8 ^{ab}	15,5 ^a
IIDI	128,81 ^{ab}	117,4 ^{cd}	14,5 ^b	15 ^a
IIID	124,84 ^{ab}	125,63 ^{bc}	15,5 ^{ab}	14,8 ^a
EIII	126,40 ^{ab}	150,01 ^a	17 ^a	14,8 ^a
IEII	139,20 ^a	147,03 ^{ab}	15,6 ^{ab}	15,3 ^a
IIEI	125,17 ^{ab}	144,01 ^{ab}	14,6 ^b	15,3 ^a
IIIE	125,40 ^{ab}	135,65 ^{abc}	16,5 ^{ab}	15 ^a
dms	29,03	25,23	2	1,8

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. dms – diferença média significativa

Não houve diferença significativa para a variável NE (Tabela 16) quando se utilizaram as médias dos experimentos. Observa-se o mesmo comportamento de NE quanto aos diferentes tratamentos.

Tabela 16 - Diferenças significativas dos valores médios de número de entrenós (NE) dos experimentos.

Tratamentos	N.E		
	Exp1	Exp2	Média
IIII	12,50 ^a	12,50 ^a	12,50 ^a
D70	12,40 ^a	12,40 ^a	12,40 ^a
D50	12,50 ^a	12,80 ^a	12,65 ^a
EEEE	12,40 ^a	13,00 ^a	12,70 ^a
DIIII	12,30 ^a	13,25 ^a	12,78 ^a
IDII	12,60 ^a	12,60 ^a	12,60 ^a
IIDI	13,00 ^a	12,50 ^a	12,75 ^a
IIID	13,00 ^a	12,90 ^a	12,95 ^a
EIII	13,00 ^a	12,90 ^a	12,95 ^a
IEII	13,00 ^a	13,10 ^a	13,05 ^a
IIEI	12,60 ^a	13,30 ^a	12,95 ^a
IIIE	12,40 ^a	13,00 ^a	12,70 ^a
Dms	1,22	1,30	1,02
C.V(%)	-	-	3,24

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. Dms- diferença média significativa

6.5 Diâmetro da espiga, peso do sabugo e diâmetro do sabugo

Encontram-se na Tabela 17 o resumo da análise de variância individual para as variáveis DE, PS e DS (diâmetro da espiga, peso do sabugo e diâmetro do sabugo, respectivamente). A nível de 1% de probabilidade houve efeito significativo dos tratamentos para essas variáveis, com coeficiente de variação de 1,49 à 14,06. A relação dos quadrados médios dos resíduos (DE=1,3; PS=1,10 e DS=1,7) para todas as variáveis não excedeu 4:1, possibilitando a análise conjunta.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância individual do experimento 1 (Exp1) e experimento 2 (Exp2) para as variáveis DE, PS e DS para a verificação das grandezas dos quadrados médio dos resíduos

Fator de variação	G.L	Quadrado médio					
		DE		PS		DS	
		Exp1	Exp2	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2
Blocos	3	21,84 ^{ns}	13,94 ^{**}	346,13 ^{**}	457,93 ^{**}	1,12 ^{ns}	5,85 ^{**}
Tratamentos	11	1,96 ^{**}	27,61 ^{**}	224,05 ^{**}	249,98 ^{**}	3,97 ^{ns}	4,46 ^{**}
Resíduos	33	1,44	1,1	21,66	21,2	2,27	1,33
	M.G	44,57	45,93	34,51	32,74	30,28	30,5
	C.V(%)	2,58	2,29	13	14,06	4,98	3,78

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); DE- Diâmetro da espiga; PS- peso do sabugo; DS- diâmetro do sabugo; M.G- média geral; C.V- coeficiente de variação; G.L- graus de liberdade

No resumo da análise de variância conjunta (Tabela18) verifica-se que a interação tratamento x experimento para DE, PS E DS permite a utilização dos

dados médios dos dois experimentos para o teste de Tukey, pois a interação não foi significativa.

Tabela 18 - Resumo da análise de variância conjunta dos experimentos para as variáveis DE, PS e DS.

	GL	Quadrado médio		
		DE	PS	DS
Bloco dentro experimento	6	-	-	-
Tratamentos	11	48,03**	437,30**	7,99**
Experimentos	1	48,04**	72,10 ^{ns}	1,59 ^{ns}
Interação T*E	11	1,11 ^{ns}	42,72 ^{ns}	1,40 ^{ns}
Resíduo	66	1,28	22,15	1,73
Total	95	724,10	9149,95	241,36

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); DE- Diâmetro da espiga; PS- peso do sabugo; DS- diâmetro do sabugo ; G.L- graus de liberdade.

O teste de Tukey com os valores médios dos dois experimentos encontra-se na Tabela 19. Essas três variáveis (DE, PS e DS) estudadas se diferenciaram significativamente aos tratamentos. Para os tratamentos impostos no ciclo total da cultura (IIII, D70, D50 e EEE) as três variáveis (DE, PS e DS) se diferenciaram significativamente, com menores médias nos tratamentos D50 e D70. O déficit e o excesso aplicados em fases fenológicas específicas da cultura não causaram efeito significativo sobre essas variáveis. As menores médias para o déficit hídrico em fases fenológicas específicas foram encontradas no tratamento imposto na fase de floração da cultura (IIDI) : DE= 44,3 mm, PS= 30 g e DS=29,7 mm. A maior média para a variável PS, quanto aos tratamentos de excesso hídrico em fases fenológicas específicas, foi encontrada no tratamento de excesso (IEII), PS=41 g.

Resultado similar, quanto a excesso hídrico em todo ciclo da cultura, foi verificado por Parizi et al. (2009) avaliando irrigação no milho de 0 à 120% ETo (Evapotranspiração de referência), no qual constataram que plantas submetidas a irrigação com 120% da ETo conseguiram maior massa de sabugo, uma vez que no presente experimento a maior média para essa variável foi verificada no tratamento EEEE, onde PS=43,3g. Essas três variáveis estudadas são extremamente ligadas a produtividade uma vez que, segundo Kein (2011) quanto maior a massa do sabugo maior será a massa de grãos, especialmente para híbridos que tem finalidade de produção de grãos.

Tabela 19 - Diferenças significativas dos valores médios dos experimentos de diâmetro da espiga (DE), peso do sabugo (PS) e diâmetro do sabugo (DS).

Tratamentos	DE(mm)			PS(g)			DS(mm)		
	Exp1	Exp2	Média	Exp1	Exp2	Média	Exp1	Exp2	Média
III	45,2 ^a	46,7 ^{abc}	45,9 ^{abc}	40,1 ^{ab}	30,5 ^{bcd}	35,3 ^{abcd}	30,3 ^a	30,1 ^{ab}	30,2 ^{ab}
D70	37,6 ^b	38,2 ^d	37,9 ^d	14,6 ^d	15,1 ^e	14,8 ^e	27,5 ^a	28,1 ^b	27,8 ^b
D50	44,1 ^a	44,4 ^c	44,3 ^c	28,2 ^c	27,5 ^{cd}	27,8 ^d	29,5 ^a	30,0 ^{ab}	29,7 ^{ab}
EEEE	46,3 ^a	47,3 ^{ab}	46,8 ^a	44,3 ^a	42,4 ^a	43,3 ^a	31,7 ^a	31,8 ^a	31,8 ^a
DIII	44,9 ^a	47,2 ^{ab}	46,0 ^{abc}	34,6 ^{abc}	38,8 ^{abc}	36,7 ^{abcd}	30,8 ^a	30,4 ^{ab}	30,6 ^a
IDII	44,9 ^a	46,5 ^{abc}	45,7 ^{abc}	32,1 ^{bc}	32,4 ^{abcd}	32,3 ^{bcd}	30,4 ^a	30,0 ^{ab}	30,2 ^{ab}
IIDI	43,8 ^a	44,8 ^{bc}	44,3 ^{bc}	35,5 ^{abc}	24,5 ^{de}	30 ^{cd}	30,0 ^a	29,4 ^{ab}	29,7 ^{ab}
IIID	45,3 ^a	46,2 ^{abc}	45,7 ^{abc}	33,6 ^{abc}	28,9 ^{cd}	31,2 ^{cd}	30,1 ^a	30,7 ^{ab}	30,4 ^{ab}
EIII	46,3 ^a	47,9 ^a	47,1 ^a	39,2 ^{abc}	38,1 ^{abc}	38,7 ^{abc}	31,2 ^a	31,5 ^a	31,4 ^a
IEII	45,8 ^a	47,3 ^{ab}	46,6 ^a	40,7 ^{ab}	41,3 ^{ab}	41,0 ^{ab}	30,6 ^a	31,3 ^a	30,9 ^a
IIEI	43,7 ^a	47,3 ^{ab}	45,5 ^{abc}	33,8 ^{abc}	36,9 ^{abc}	35,3 ^{abcd}	29,1 ^a	31,6 ^a	30,3 ^{ab}
IIIE	45,6 ^a	46,8 ^{abc}	46,2 ^{ab}	36,3 ^{abc}	36,0 ^{abc}	36,2 ^{abcd}	31,0 ^a	30,6 ^{ab}	30,8 ^a
dms	2,85	2,60	1,93	11,50	11,42	8,98	3,7	2,86	2,52
CV			1,72			10,77			3,34

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. dms– diferença média significativa; CV-coeficiente de variação.

7 POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

No experimento 2, foram realizadas medições do potencial hídrico foliar ($-\psi_f$) em três datas: 10/07, 17/08 e 14/09/2013 com o intuito de avaliar o estado hídrico das plantas. Essas datas coincidiram com três fases fenológicas estudadas: Pendoamento, Floração e R2, respectivamente. Tais medições foram realizadas ao longo do dia em intervalos de 2 em 2 horas. Na Tabela 20 encontra-se o resumo da análise de variância na regressão do potencial hídrico foliar das 6 às 18 horas. Nota-se que os coeficientes de variação estiveram no intervalo de 2 a 10%, caracterizando excelente precisão das medidas.

Verifica-se que em todos os horários, 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas, houveram diferenças significativas do potencial hídrico foliar para os 4 tratamentos estudados (D50, D70, III e EEEE) a nível de 1% de probabilidade, havendo um componente linear altamente significativo. Observou-se também significância nos modelos quadráticos e cúbicos em algumas horas do dia, no entanto, escolheu-se os modelos lineares, pela facilidade em se trabalhar com os mesmos.

Tabela 20 - Resumo da análise de variância na regressão dos dados de potencial hídrico foliar da cultura do milho às 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas do dia 10 de Julho de 2013 em Piracicaba - SP

Fator de variação	G.L	Horas						
		6	8	10	12	14	16	18
Quadrado Médio								
Regressão linear	1	0,068**	0,14**	0,417**	0,802**	0,095**	0,444**	0,297**
Regressão quadrática	1	0,011**	0,00001 ^{ns}	0,006*	0,011 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	0,0016 ^{ns}	0,0012 ^{ns}
Regressão cúbica	1	0,0006 ^{ns}	0,026**	0,006*	0,22**	0,0057**	0,089**	0,052**
Resíduo	9	0,00218	0,00009	0,00630	0,00590	0,00048	0,00066	0,00063
	Média geral	0,2262	0,4850	0,7450	0,7940	0,5950	0,4820	0,4030
	C.V%	6,87	1,95	3,36	9,96	3,69	5,33	6,19

^{ns} não significativo a nível de 5% de significância; ** significativo a nível de 1% significância; * significativo a nível de 5% de significância

No Figura 14 são apresentados os modelos que melhor descreveram o comportamento da variável resposta em função do incremento de lâminas de irrigação, nas diferentes horas do dia. Observa-se que os resultados de potencial hídrico foliar obtidos, indicam um decréscimo linear com a redução das lâminas de irrigação, atingindo seu ponto mais negativo naquelas plantas que foram submetidas aos tratamentos D70 e D50. Isso, para todas as horas do dia. Essa redução do potencial hídrico foliar em relação a maior restrição de água, é um indicativo de estresse hídrico na planta.

Verifica-se no Gráfico I-6h que o potencial hídrico foliar decresceu nas plantas submetidas a uma maior restrição hídrica, chegando a valores de -0,27 e -0,30 MPa. Esse Gráfico é referente as medições feitas antes do sol nascer, pouco antes das 6 horas (potencial de base). De acordo com Taiz e Zeiger (2009), o potencial de base tem sido considerado um indicativo do estado hídrico das plantas, bem como da quantidade de água disponível no solo.

Os valores mais negativos do potencial hídrico foliar foram encontrados nas plantas submetidas a déficit hídrico às 12:00 (potencial mínimo), chegando a valores por volta de -1,2 MPa (Gráfico IV-12h). Para os quatro tratamentos essa foi a hora em que o potencial hídrico foliar foi mais negativo quando comparado as outras medidas feitas nos outros horários. Esse comportamento em que a cultura mantém seu potencial mais negativo nas horas de maior demanda atmosférica do dia, também foi verificado por Bergonci et al. (2000). O autor estudou o potencial de água na folha como um indicador de déficit hídrico na cultura do milho, onde conclui que o milho demonstra ser uma cultura anisio-hídrica, por não manter seu potencial hídrico foliar alto nos tecidos nas horas mais quentes do dia, o que é de concordância com o presente trabalho. No entanto, esses mesmo autores encontraram valores um pouco diferentes de potenciais hídricos foliar mínimo, quando comparado ao presente estudo. Os autores encontraram potenciais mínimos na folha de -1,2 à -1,5 MPa em plantas irrigadas e de -1,6 à -2,0 MPa em plantas não irrigadas. Diferença essa de valores, normal, uma vez que as condições dos experimentos são diferentes.

Angelocci (2002) cita que é preciso levar em conta a variação temporal para esta medida e quando o objetivo for a comparação do potencial foliar entre tratamentos, as medidas devem ocorrer nos horários de maior demanda hídrica da atmosfera, entre 11 às 14 horas, quando existe certa estabilidade do potencial de água.

Em todas as horas e em todos os tratamentos o potencial hídrico foliar foi sempre mais negativo nas plantas submetidas a déficit hídrico do que as plantas irrigadas plenamente e com excesso (IIII e EEEE).

Figura 14 - Regressão do potencial hídrico foliar ($-\psi_f$) ao longo do dia (6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18h) submetido aos diferentes tratamentos no dia 10/07/2013

Na Tabela 21 encontra-se o resumo da análise de variância na regressão, do potencial hídrico foliar às 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18h do dia 17/08/2013. Nota-se

que os coeficientes de variação estiveram no intervalo de 0,94 à 17,38%, caracterizando boa precisão das medidas. O modelo de regressão linear foi o que melhor descreveu a variável resposta em função dos tratamentos em todas as horas do dia estudadas.

Tabela 21 - Resumo da análise de variância na regressão dos dados de potencial hídrico foliar da cultura do milho às 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas do dia 17 de Agosto de 2013 em Piracicaba - SP

Fator de variação	G.L	Horas						
		6	8	10	12	14	16	18
Quadrado Médio								
Regressão linear	1	0,227**	0,332**	1,13**	1,44**	0,413**	0,137**	0,172**
Regressão quadrática	1	0,0068**	0,0001 ^{ns}	0,063**	0,348**	0,074**	0,019**	0,096**
Regressão cúbica	1	0,0043**	0,198**	0,006**	0,083 ^{ns}	0,042**	0,009**	0,1411**
Resíduo	9	0,00012	0,00110	0,00009	0,03000	0,00009	0,00064	0,00070
Média geral		0,2818	0,501	1,1240	1,00	1,0100	0,5580	0,5070
C.V%		3,93	6,72	0,84	17,38	0,94	4,51	5,21

^{ns} não significativo a nível de 5% de significância; ** significativo a nível de 1% significância; * significativo a nível de 5% de significância

O potencial hídrico foliar de base (Gráfico I-6h) atingiu valores mais negativos nos tratamentos D50 e D70, com valores de -0,3 e -05 Mpa, respectivamente. Observa-se na Figura 15, a flutuação ao longo do dia do potencial hídrico em todos os tratamentos, com valores mais negativos compreendidos ente 10 e 14 horas (Gráficos III-10h, IV-12h e V-14h). Esse comportamento pode ser explicado, como uma estratégia da cultura à baixa disponibilidade de água no sistema, tanto no solo como no ambiente, uma vez que nesse intervalo de tempo a temperatura do ar (Tar), o déficit de pressão e vapor (DPV) e a temperatura da folha (Tf) foram mais elevadas (Tabela 19). Segundo Kramer e Boyer (1995) as medições do potencial da água da folha podem fornecer informações que permitem identificar o estado hídrico em que as plantas se encontram. Para a maioria das espécies, o potencial da água da folha acompanha as variações diurnas da demanda evaporativa da atmosfera, atingindo um valor máximo logo antes do nascer do sol. Nesse momento, as plantas encontram-se com a máxima turgescência possível para uma dada condição hídrica no solo.

De acordo com Bergamaschi (1992) no início da manhã, quando a planta está túrgida, o potencial da água nas folhas é da ordem de -0,1 a -0,3 Mpa, valores que são semelhantes ao do presente estudo. Seu valor mínimo é atingido em torno das 14 h, pela redução do conteúdo de água da planta resultante do balanço entre o fluxo transpiratório e a quantidade de água que as raízes absorvem do solo. Valores

de -0,5 a -1,5 Mpa para o potencial da água na planta são típicos, em condições hídricas satisfatórias. Com baixa disponibilidade hídrica no solo e alta taxa de transpiração, o potencial da água na planta pode chegar a valores de -2 a -4 MPa (ou até menos), dependendo da espécie e do ambiente.

Na Tabela 22, encontra-se a variação diária da temperatura do ar (Tar), temperatura da folha (Tf) e déficit de pressão e vapor (DPV) correspondentes as horas do dia. A Tar nesse dia, oscilou entre 9,4 e 24,7 °C, com valores mais elevados entre 12 e 16 horas, um pouco acima da temperatura ótima da cultura, que segundo Reichardt (1987) está entre 15 e 20°C. Para os quatro tratamentos, a Tf aumentou a medida que se elevava a Tar. Apesar de não ser verificada uma diferença de Tf entre os tratamentos, observa-se que as maiores temperaturas da folha, para todos os tratamentos, ocorreram às 12 horas.

Oliveira et al. (2005) estudando indicadores de estresse hídrico em plantas de feijão submetidas a quatro tratamentos de irrigação, observaram diferenças significativas de temperatura foliar entre os tratamentos, onde os tratamentos em que foram impostos um maior tempo sem irrigar (mais estressados), foram os que apresentaram maior temperatura foliar com valores máximos de 38 °C, medido entre 12 e 14 horas.

Tabela 22 - Variação horária da temperatura do ar (Tar°C), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (Tf°C) nos 4 tratamentos no dia 17 de Agosto de 2013 em Piracicaba - SP

Horas	Tar°C	DPV	Tf °C			
			E	I	D50	D70
6	9,4	0,038	13,5	13,17	13,2	12,75
8	8,5	0,034	19,65	18,8	17,65	18,25
10	15,3	0,559	25,55	25,5	26,3	25,95
12	22,5	1,190	27,8	28,1	27,65	27,75
14	22,7	1,486	23,2	23,65	25,2	24,6
16	24,7	1,309	18,5	18,8	18,65	18,16
18	22,5	0,882	*	*	*	*

*- o aparelho não conseguiu medir

Quando os vegetais perdem água para a atmosfera, seu potencial hídrico é reduzido, tornando-se mais negativo que o potencial do solo. Sendo assim, as plantas podem sofrer déficit hídrico causado pela atmosfera, quando o DPV é alto ou quando o potencial hídrico do solo é baixo. Quando há falta de água no sistema solo-planta-atmosfera há redução da abertura estomática e consequentemente queda no potencial hídrico foliar (HOSE et al., 2001; MAIA, 2005). Assim, como relatado por Riboldi (2014) e Martins et al. (2010) os menores valores de potencial

hídrico foliar normalmente ocorrem entre 13 e 16 horas, devido a elevação do DPV que é regido pela temperatura do ar mais elevada nessas horas do dia, o que é de concordância com o presente estudo.

Figura 15 - Regressão do potencial hídrico foliar ao longo do dia (6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18h) submetido aos diferentes tratamentos no dia 17/08/2013.

Na Tabela 23 encontra-se o resumo da análise de variância na regressão, do potencial hídrico foliar às 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18h do dia 14/09/2013. Assim como nos outros dois dias de medição, verificou-se boa precisão experimental devido aos baixos valores dos coeficientes de variação, em todas as horas do dia, como também, o modelo linear sendo mais representativo da variável resposta em função dos tratamentos.

Tabela 23 - Resumo da análise de variância na regressão dos dados de potencial hídrico foliar da cultura do milho às 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas do dia 14 de Setembro de 2013 em Piracicaba – SP.

Fator de variação	G.L	Horas(14/09/2013)						
		6	8	10	12	14	16	18
Quadrado Médio								
Regressão linear	1	0,159**	0,0959**	0,495**	0,1328**	0,2132**	0,129**	0,382**
Regressão quadrática	1	0,0014*	0,0141 ^{ns}	0,0033**	0,0064**	0,0052*	0,0004 ^{ns}	0,00031 ^{ns}
Regressão cúbica	1	0,012**	0,000 ^{ns}	0,00021 ^{ns}	0,00648**	0,003*	0,014**	0,0070**
Resíduo	9	0,00018	0,00062	0,00013	0,00021	0,00058	0,00071	0,00056
Média geral		0,2530	0,2630	0,4118	0,5780	0,5880	0,4600	0,3010
C.V%		5,28	9,44	2,81	2,53	4,11	5,80	7,81

^{ns} não significativo a nível de 5% de significância; ** significativo a nível de 1% significância; * significativo a nível de 5% de significância.

O potencial hídrico de base (Gráfico I-6h na Figura 16) variou de -0,11 à -0,37 Mpa em todos os tratamentos, menos negativos do que os potenciais de base em folhas de milho encontrados por Quanqi et al. (2008) e Vieira Junior et al. (2007), onde os mesmos encontraram valores de -0,2 a -0,7 Mpa. Bergonci et al. (2000) encontrou valores de -0,05 a -0,27 Mpa quando estudaram a cultura do milho em condições de déficit hídrico, valores próximos ao do presente estudo e ambos diferentes daqueles encontrados por Martins (2010) que estudou as modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico no interior de uma cobertura móvel, encontrando valores de -0,5 e -1,1 Mpa.

Marinho (2011) estudando irrigação plena e com déficit hídrico em pimenta tabasco em ambiente protegido, com lâminas de irrigação de 40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura, verificou efeito significativo desses tratamentos no potencial hídrico de base, com valores de -0,76 Mpa e -0,77Mpa para déficit de 40% na fase de vegetativa e fase de floração da cultura, respetivamente.

Figura 16 - Regressão do potencial hídrico foliar ao longo do dia (8, 10, 12, 14, 16 e 18h) submetido aos diferentes tratamentos no dia 14/09/2013.

Na Tabela 24 encontra-se a variação diária da (Tar), (Tf) e (DPV) correspondente as horas do dia. A temperatura do ar oscilou de 12,5 à 35,73 °C. A

temperatura da folha, assim como nas medições anteriores, não foi verificada nenhuma diferença entre os tratamentos, no entanto, verificou-se aumento da temperatura foliar conforme as horas mais quentes do dia.

Tabela 24 - Variação horária da temperatura do ar ($T_{ar}^{\circ}C$), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha ($T_f^{\circ}C$) nos 4 tratamentos no dia 14 de Setembro de 2013 em Piracicaba - SP

Horas	$T^{\circ}C$ ar	DPV	$T^{\circ}C$ folha			
			E	I	D50	D70
6	12,5	0,17042	15	15,4	16	16,5
8	12,33	0,21492	22,1	23,8	25,15	22,75
10	22,9	1,92126	32,85	32,7	33,25	32,8
12	31,9	3,38339	39,3	37,35	37,45	38
14	35,73	4,4838	36,9	35,1	35,35	36,05
16	34,16	4,19982	39,5	37,3	36,35	39,2
18	33,2	3,42412	29,1	27,85	28,15	28,25

Na Tabela 25 encontra-se o curso diário do potencial hídrico foliar para as três datas de mediação. Verifica-se que todas as equações de regressão polinomial foram significativas a nível de 1% de probabilidade (**). Constatando-se que no decorrer dos dias estudados, a planta respondeu de maneira diferente aos tratamentos impostos no que se refere o potencial de água na folha.

Tabela 25 - Equações de regressão do potencial hídrico foliar em função das diferentes horas do dia nas três diferentes datas de medição

Tratamentos	Equação de regressão ¹	R ²
IIII	$y=0,105x^2+0,25x+0,886$	0,76**
EEEE	$y=0,0099x^2+0,241x+0,95$	0,90**
D50	$y=-0,013x^2+0,0334x-1,21$	0,74**
D70	$y=-0,0143x^2+0,356x-1,3$	0,81**
Tratamentos	Equação de regressão ²	R ²
IIII	$y=-0,0179x^2+0,448x-1,91$	0,79**
EEEE	$y=-0,013x^2+0,323x-1,324$	0,66**
D50	$y=-0,0225x^2+0,056x-2,268$	0,81**
D70	$y=0,0235x^2+0,561x-2,08$	0,73**
Tratamentos	Equação de regressão ³	R ²
IIII	$y=-0,0084x^2+0,213x-0,851$	0,82**
EEEE	$y=-0,0067x^2+0,178x-0,756$	0,87**
D50	$y=-0,0064x^2+0,166x-0,511$	0,64**
D70	$y=-0,086x^2+0,218x-0,73$	0,7**

(**) significativo a 1% de probabilidade, (¹) dia 10 de Julho, (²) dia 17 de Agosto (³) dia 14 de Setembro de 2013, respectivamente.

8 COEFICIENTE DE RESPOSTA DA CULTURA AO DÉFICIT HÍDRICO

Com o intuito de analisar os efeitos do manejo da irrigação sobre a produtividade da cultura do milho, foram determinados os coeficientes de resposta da cultura ao déficit hídrico (k_y), no ciclo total e em fases fenológicas específicas. Na Tabela 26 e 27 são apresentados os valores dos coeficientes de resposta da cultura do milho ao déficit hídrico referente aos dois experimentos, bem como os valores de ET_r , ET_m , Y_r , Y_m , $(1-ET_r/ET_m)$ e $(1-Y_r/Y_m)$ calculados de cada tratamento com déficit hídrico, nos diferentes estádios fenológicos da cultura do milho.

Considerou-se como evapotranspiração máxima (ET_m), aquela ocorrida no tratamento que ocasionou a maior produtividade (Y_m), que no caso do experimento 1, foi o IEII, com produtividade de 9196,20 kg Ha⁻¹. Os tratamentos EEEE, IIIE e IIEI foram excluídos dessa análise devido ao procedimento de cálculo do déficit relativo de evapotranspiração $(1-(ET_r/ET_m))$, uma vez que as ET_r 's desses tratamentos foram mais elevadas (não ocasionando maiores produtividades) do que a (ET_m), inviabilizando assim o procedimento de cálculo. Os tratamentos IIIL e EIIL com ET_r 's de 214,91 e 222,9 mm respectivamente, foram considerados como lâminas de déficit aplicadas no ciclo total de 7,7 e 4,3% em relação a ET_m de 232,8 mm.

Tabela 26 - Valores de evapotranspiração real da cultura (ET_r), evapotranspiração máxima da cultura (ET_m), produtividade real da cultura (Y_r), produtividade máxima da cultura (Y_m) e coeficiente de sensibilidade (K_y), para a produtividade da cultura do milho (kg ha⁻¹) no Experimento 1, em Piracicaba - SP

Tratamentos	ET_r (mm)	$\frac{ET_r}{ET_m}$	$(1 - \frac{ET_r}{ET_m})$	Y_r (kg ha ⁻¹)	$\frac{Y_r}{Y_m}$	$(1 - \frac{Y_r}{Y_m})$	K_y
IEII	232,81	1,00	0,00	9196,20	1,00	0,00	-
D70 ¹	73,93	0,32	0,68	3459,5	0,38	0,62	-
D50 ¹	114,21	0,49	0,51	6510,40	0,71	0,29	-
IIIL ¹	214,9	0,92	0,076	8898,4	0,96	0,032	-
EIIL ¹	222,9	0,96	0,042	8634,6	0,93	0,06	-
DIIL ²	7,95	0,50	0,50	8005,40	0,87	0,13	0,26
IDII ²	29,77	0,83	0,17	6290,70	0,68	0,32	1,88
IIDI ²	55,35	0,41	0,59	7072,00	0,77	0,23	0,40
IIID ²	29,43	0,50	0,50	8255,65	0,90	0,10	0,20

¹ déficit hídrico no ciclo total

² déficit hídrico em fases fenológicas

Verifica-se na Tabela 26 que o tratamento D70 no experimento 1, ocasionou maior queda de produtividade (62%) com um déficit de evapotranspiração relativa de 68%, para uma evapotranspiração real ao longo de todo ciclo de 73,93 mm. O tratamento D50 ocasionou uma queda de produtividade de 29% com um déficit de

evapotranspiração relativa de 51% com uma evapotranspiração real de 114,21 mm no ciclo total. Os tratamentos IIII e EIII causaram baixa queda na produtividade, 3,2 e 6% respectivamente.

Na Figura 17 encontra-se a relação entre redução da produtividade relativa e o déficit hídrico de evapotranspiração durante todo o ciclo da cultura do milho no experimento 1. De acordo com Stewart e Hagan (1973) esses dados devem ser ajustados a uma equação de regressão linear passando pela origem. Esse procedimento matemático resulta que o coeficiente de inclinação da regressão linear é o valor de K_y geral, que no caso, foi de 0,80, apresentando um coeficiente de determinação alto, de 0,92. Esse valor de K_y geral inferior a unidade, indica que nas condições do experimento, a cultura do milho foi relativamente tolerante ao déficit hídrico.

Figura 17 - Redução relativa da produtividade $1-(Yr/Ym)$ em função do déficit relativo de evapotranspiração $1-(ETr/ETm)$ da cultura do milho no experimento 1, Piracicaba - SP

Esse valor geral do coeficiente de sensibilidade para esses tratamentos impostos no ciclo total da cultura, são inferiores aqueles apresentados por Dorenboos e Kassam (1994) que é de $K_y=1,25$. Isso pode ser explicado devido a característica do ambiente protegido, a adaptabilidade da cultivar a esse ambiente e ainda, a diferença do manejo de irrigação. Pode-se acrescentar ainda que, segundo esses autores a avaliação dos dados a nível de campo indica certa dispersão dos valores de K_y , que pode ser ocasionado pelo erro experimental, variações do clima e características do solo. Ressaltam ainda que não existem valores padrão de coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico.

De acordo com Dorenboos e Kassam (1994), pode-se classificar as culturas em categorias quanto a sua sensibilidade ao estresse hídrico: baixo ($K_y < 0,85$); baixo/médio ($0,85 < K_y < 1,00$); médio/alto ($1,00 < K_y < 1,15$) e alto ($K_y > 1,15$). Nessas condições em que o experimento foi realizado, a cultura do milho demonstrou baixa sensibilidade ($K_y=0,80$) aos tratamentos impostos no ciclo total da cultura, no experimento I.

Ainda na Tabela 26, encontram-se os tratamentos impostos em quatro fases fenológicas específicas da cultura: DIII; déficit de 50% da evapotranspiração máxima no período (V4 à V8), IDII; déficit de 50% da evapotranspiração máxima no período (V8 à Vp), IIDI; déficit de 50% da evapotranspiração máxima no período (Vp à R2) e IIID; déficit de 50% da evapotranspiração máxima no período (R2 à Rt). Destacam-se pelas maiores quedas de rendimentos, os tratamentos IDII e IIDI com 32 e 23%, respectivamente, devido esses abrangerem as fases do ciclo da cultura que são mais críticas ao déficit hídrico na cultura do milho: pendoamento e florescimento. O maior valor de K_y ocorreu quando a cultura sofreu déficit na fase de pendoamento ($K_y=1,88$), demonstrando alta sensibilidade ao déficit hídrico nesse período. O valor de $K_y=0,40$ (baixa sensibilidade) no tratamento que abrange o florescimento (IIDI), foi abaixo do tabelado pela FAO ($K_y=1,5$). Medeiros et al. (1991) estudando a relação entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho em sete subperíodos e no ciclo total da cultura, verificaram que o déficit hídrico imposto no pendoamento, ocasionou maiores quedas de rendimentos em relação aos outros subperíodos. Bergamaschi et al. (2006) avaliando o impacto do déficit hídrico no rendimento de grão de milho encontraram maior redução na fase de florescimento. Essa variação de valores do coeficiente de sensibilidade obtidos em diferentes fases do ciclo das culturas, geralmente é muito contrastante na literatura, o que pode ser explicado devido a duração de dias (início e término) entre uma fase fenológica e outra. E ainda, a adoção de uma determinada metodologia para a identificação das fases fenológicas.

Os tratamentos DIII e IIID, com valores de K_y de 0,26 e 0,20 respectivamente, proporcionaram baixa queda de rendimento da cultura, de 10 a 13%. Esses tratamentos foram impostos no crescimento vegetativo e na maturação dos grãos, que são estádios que segundo Dorenboos e Kassam (1994), espera-se um menor decréscimo no rendimento relativo das culturas, quando comparado ao estágio de floração, havendo assim uma concordância com esse estudo. Por outro

lado, Silva et al. (2014) determinando os coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do girassol em estádios isolados e no ciclo total da cultura, encontrou coeficientes variando em ordem decrescente: formação da produção (0,22), vegetativo (0,12) e floração(0,04), para déficit hídrico aplicado em apenas um estágio fenológico, concluindo assim que, os valores de K_y obtidos divergem dos valores apresentados na bibliografia, o que ressalta a necessidade do cálculo deste coeficiente para as especificidades de clima, solo, genótipo e divisão fenológica. Doorenbos e Kassam (1979), analisando vários experimentos, com feijoeiro, notaram que um déficit hídrico de 50% na etapa vegetativa provoca uma redução de rendimento de apenas 10%. O mesmo déficit na floração reduz a produção em 55%, e durante o enchimento das vagens, em 38%. No entanto, o déficit durante a maturação reduz o rendimento em apenas 10%.

Estudos sobre o efeito da duração do déficit hídrico nos diferentes subperíodos de plantas de milho foram realizados por Claasen e Shaw (1970). A ocorrência de déficit hídrico durante o crescimento vegetativo ocasionou redução de 12 a 15% no rendimento de grãos em relação ao tratamento sem restrições hídricas no solo. Quando o déficit hídrico foi aplicado durante o florescimento das plantas, ocorreu diminuição de 53%, e, quando aplicado durante o enchimento de grãos houve uma redução do rendimento de grãos de 35%. Segundo os autores, existe alta significância entre o déficit hídrico e o rendimento de grãos, principalmente quando ele ocorre durante o florescimento.

Na Tabela 27 encontram-se os resultados dos déficits hídricos em todo o ciclo da cultura do milho e em fases específicas no experimento 2. A produtividade real da cultura decresceu a medida que a severidade do déficit hídrico aumentava. Verificam-se que, assim como no experimento 1, as maiores perdas de rendimentos foram ocasionadas nos tratamentos D70 e D50, com queda de rendimento de 69 e 40%, e redução relativa na evapotranspiração de 72 e 52%, respectivamente. Payero et al. (2006), estudando a resposta do milho ao estresse hídrico imposto durante todo ciclo da cultura, quantificado através da evapotranspiração da cultura, constatou que o fornecimento de 50% da quantidade de água necessária para as plantas atingirem a evapotranspiração máxima proporcionou uma redução de rendimento de grãos e no potencial produtivo de 7700 kg ha e 61%, respectivamente.

Tabela 27 - Valores de evapotranspiração real da cultura (ETr), evapotranspiração máxima da cultura (ETm), produtividade real da cultura (Yr), produtividade máxima da cultura (Ym) e coeficiente de sensibilidade (Ky), para a produtividade da cultura do milho (kg.ha⁻¹) no experimento 2, em Piracicaba - SP

Tratamentos	ETr (mm dia ⁻¹)	$\frac{ETr}{ETm}$	$(1 - \frac{ETr}{ETm})$	Yr (kg ha ⁻¹)	$\frac{Yr}{Ym}$	$(1 - \frac{Yr}{Ym})$	Ky
IEII	215,86	1,00	0,00	10758,80	1,00	0,00	-
D70 ¹	60,01	0,28	0,72	3332,9	0,31	0,69	-
D50 ¹	102,56	0,48	0,52	6468,15	0,60	0,40	-
IIII ¹	200,05	0,93	0,07	9391,85	0,87	0,13	-
EIII ¹	212,57	0,98	0,02	10448,75	0,97	0,03	-
DIII ²	7,57	0,30	0,70	9678,50	0,90	0,10	0,14
IDII ²	26,71	0,56	0,44	7891,65	0,73	0,27	0,61
IIDI ²	29,26	0,68	0,32	6410,30	0,60	0,40	1,26
IIID ²	47,64	0,5	0,5	7768,80	0,72	0,28	0,55

¹ déficit hídrico no ciclo total

² déficit hídrico em fases fenológicas

Ainda na tabela 27 encontra-se a variação do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico ao longo dos estádios fenológicos estudados. Verifica-se que no experimento 2, a cultura foi mais sensível a déficit hídrico no tratamento IIDI, com Ky= 1,26 e uma queda de rendimento de produtividade de 40% para um déficit de evapotranspiração de 32%, sendo assim classificada para essa fase, de alta sensibilidade, segundo a classificação de Doorenbos e Kassam (1979). O comportamento da cultura ao déficit hídrico referente a esse tratamento (IIDI), que é imposto na floração, é próximo ao tabelado pela FAO para essa mesma fase (Ky=1,5). Os tratamentos DIII e IDII, que englobam os subperíodos vegetativo e pendoamento, obtiveram Ky igual a 0,14 e 0,6 respectivamente, com queda de rendimento de 10 e 27% para um déficit de evapotranspiração de 70 e 44%, respectivamente.

Na Figura 18 encontra-se a relação entre redução da produtividade relativa e o déficit de evapotranspiração durante todo o ciclo da cultura do milho no experimento 2. O mesmo procedimento para a determinação do Ky geral na equação de regressão referente aos dados de redução da produtividade relativa 1-(Yr/Ym) em função ao déficit de evapotranspiração 1-(ETr/ETm) foi adotado, onde o intercepto da regressão linear foi igual a zero. Utilizando-se desse procedimento, o coeficiente de inclinação da regressão linear equivaleu ao valor de ky (0,90),

apresentando um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,96. Nessas condições a cultura demonstrou-se com baixa sensibilidade ao déficit hídrico.

Figura 18 - Redução relativa da produtividade $1-(Y_r/Y_m)$ em função do déficit relativo de evapotranspiração $1-(E_{Tr}/E_{Tm})$ da cultura do milho no experimento 2, Piracicaba - SP

9 FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA

Os valores de produtividade da água (PA) foram calculados pela razão entre produtividade e lâmina total aplicada em cada parcela. A partir da análise de regressão verificou-se as PAs em função das diferentes lâminas de irrigação, se ajustaram a um modelo polinomial quadrático com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,86 e 0,98 para o experimento I e II, respectivamente. Observa-se nas Figuras 19 e 20, referentes ao experimento I e II, respectivamente, que, a PA decresce com o incremento da lâmina de irrigação, onde os maiores valores de produtividade da água foram encontrados nos tratamentos com déficit de 50 e 70% da ETc em ambos os experimentos. Apesar dos tratamentos de reposição de 100 e 150% terem produzido mais que os tratamentos com déficit hídrico, os mesmos obtiveram baixa PA devido a um maior consumo de água, evidenciando assim, que a irrigação com déficit hídrico foi um fator importante para que a PA fosse aumentada. Os maiores valores de PA foram encontrados nos tratamentos com déficit de 50% em ambos os experimentos. Resultado similar foi encontrado por Gava (2014) trabalhando com soja nas mesmas condições de cultivo do presente trabalho. O autor estudou diferentes lâminas de irrigação em duas variedades de soja em dois anos consecutivos, onde foi verificada uma maior PA no tratamento de 50% da ETc nos dois anos. Colaizzi et al. (2004) também encontraram maiores valores de produtividade de água na cultura do sorgo nos tratamentos de 50 à 75% da ETc.

Figura 19 - Produtividade da água da cultura do milho, experimento I

Figura 20 - Produtividade da água da cultura do milho, experimento II

Nas figuras 21 e 22 (experimento I e II), são apresentados os modelos polinomiais quadráticos que relacionam a produtividade grãos com as diferentes lâminas de irrigação, ambas indicando bom ajuste do modelo devido ao elevado valor do coeficiente de determinação ($R^2=0,97$ e $0,98$). Verifica-se que a produtividade da cultura do milho foi influenciada pelas lâminas água aplicada durante o ciclo total da cultura.

Figura 21 - Função de produção da cultura do milho, experimento I

Figura 22 - Função de produção da cultura do milho, experimento II

Pelas equações ajustadas, a lâmina de irrigação que proporcionou maiores produtividades foi a imposta no tratamento de excesso hídrico. As lâminas correspondentes a esse tratamento em ambos os experimentos foram de 315,6 e 297,5 mm, obtendo produtividade de 8833,5 kg ha⁻¹ e 10364,95 kg ha⁻¹, respectivamente.

10 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e considerando as condições do presente estudo, pode-se concluir que:

- A irrigação deficitária reduz a produtividade da cultura milho, aumentando sua produtividade da água. Apesar de ocorrer essa redução, a estratégia de déficit de 50% da ETc pode ser adotada ao invés da irrigação plena, uma vez que, nas condições do presente experimento, essas duas estratégias não diferiram estatisticamente quanto a produtividade, o que atende a hipótese do trabalho.

- Os excessos hídricos não causaram danos a cultura, sendo os tratamentos que obtiveram as maiores produtividades de grãos. Por outro lado, o excesso no ciclo total da cultura foi o que obteve a menor produtividade da água. O que torna essa estratégia inviável quando o foco é priorizar a economia de água.

- Os déficits hídricos nas fases de pendoamento e floração causaram maiores prejuízos, quando comparado aos outros subperíodos com déficit.

- O potencial hídrico foliar é uma boa alternativa nos estudos das relações hídricas da cultura do milho.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P.E.P.; ANDRADE, C.L.T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 10).

ALBUQUERQUE, P.E.P. Aspectos conceituais do uso eficiente da água na agricultura. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 2004, Passo Fundo. **Anais...** Passo-Fundo, 2004.

_____. **Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 24 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 136).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 301 p. (FAO. Irrigation Paper, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; DAMASCENO, L.M.O.; DIAS, N.S.; GHEYI, H.R.; GUISELINI, C. Climate variations in greenhouse cultivated with gerbera and relationship with external conditions. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, p. 857-867, 2011.

ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 272 p.

ASSIS, J.P.; DOURADO NETO, D.; NASS, L.L.; MANFRON, P.A.; BONNECARRERE, R.A.G.; MARTIN, T.N. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 539-543, 2006.

BARBIN, D. **Planejamento e análise de experimentos agronômicos**. Arapongas: Midas, 2003. 208 p.

BÄNZIGER, M.; EDMÉADES, G.O.; BECK, D.; BELLON, M. **Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice**. México: CIMMYT, 2000. 68 p.

BEN, L.H.B.; PEITER, M.X.; PARIZI, A.R.C.; ROBAINA, A.D.; PEREIRA, A.C. Resposta na produção do milho “safrinha” com diferentes reposições de água por meio da irrigação suplementar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43., 2014, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBEA, 2014.

BERGAMASCHI H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: _____. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, Ed. Universidade, 1992. p. 25-32.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS; Ascar, 2014. 84 p.

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, n. 9, p. 831-839, set. 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.

BERGONCI, J.L.; BERGAMASCHI, H. Ecofisiologia do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: ABMS, 2002. 1 CD-ROM.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; SANTOS, O.S. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1531-1540, 2000.

BONFIM-SILVA, E.M.; SILVA, T.J.A. da, CABRAL, C.E.A.; KROT, B.E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011

BRASIL. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de comércio exterior. **Informativo SECEX**. Disponível em: <<http://infosecex.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 29 out. 2012.

BRUNINI, O.; PINTO, H.S.; ZULLO, J. Sistema de aconselhamento agrometeorológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, nº, 1998, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Editora, 1998. p. 15.

BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico do solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1053-1060, 1998.

CAMPOS, M.C C.; SILVA, V.A.; CAVALCANTE, I.H.L.; BECKMANN, M.Z. Produtividade e características agrônômicas de cultivares de milho safrinha sob plantio direto no Estado de Goiás. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 77-84, jan./mar. 2010

CANTUÁRIO, F.S. **Produção de pimentão submetido a estresse hídrico e silicato de potássio em cultivo protegido**. 2012. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

CLAASSEN, M.M.; SHAW, R.H. Water deficit effects on corn. II. Grain components. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, p. 652-655, 1970.

CHOCHARD, H.; COLL, L.; LE ROUX, X.; AMEGLIO, T. Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in walnut. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 128, p. 282-290, 2002.

COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; OLIVEIRA, S.L. Agricultura irrigada: eficiência da irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, Cruz das Almas, v. 7, n. 1, p. 57-60, set. 2005.

COELHO, M.R.V. **Alterações fisiológicas e metabólicas em *hyptis fruticosa* salzm. ex. benth e *ocimum gratissimum* L. sob diferentes regimes hídricos**. 2014. 87 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana, 2014.

COLAIZZI, P.D.; SCHNEIDER, A.D.; EVETT, S.R.; HOWELL, T.A. Comparison of Sdi, Lepa, and Spray irrigation performance for grain sorghum, **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 47, n. 5, p.1477-1492, 2004

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 06 out. 2008.

_____. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento**, janeiro 2012. Brasília, 2012. 29 p.

_____. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_14_11_56_28_boletim_gaos_abril_2014.pdf>. 2014. Acesso em: 22 mar. 2014.

DIDONET, A.D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J.L.; IDE, F. Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 933-938, 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO Irrigation and Drainage, 33).

_____. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de por: H.R. Gheyi et al. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 179 p.

DUFAULT, R.J. Determining heat unit requirements for broccoli in coastal South Carolina. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 122, n. 2, p. 169-174, 1997

DURAES, F.O.M.; SANTOS, M.X.; GAMA, E.E.G.; MAGALHÃES, P.C.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; GUIMARÃES, C.T. **Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores**. 2004. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 35).

ENGLISH, M.J.; RAJA, S.N. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 32, p. 114, 1996.

ESPINDULA NETO, D. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

FAGAN, E.B.; PETTER, S.L.; SIMON, J.; BORCIONI, E.; LUZ, J.L.; MANFRON, P.A.; Eficiência do uso de água do meloeiro hidropônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 37-45, Mar./Apr. 2009

FANCELLI, A.L. **Plantas alimentícias**: guia para estudos e discussão. Piracicaba: CALQ, 1986. 131 p.

_____. **Milho e feijão**: elementos para manejo em agricultura irrigada. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1994. 14 p.

_____. **O sistema de plantio direto**: curso de especialização à distância; tecnologia da produção de milho. Piracicaba: ESALQ, 2002.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1997. 174 p.

_____. **Gerenciamento da cultura de milho**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 1999.

_____. Ecofisiologia e fenologia. In: _____. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000a. cap. 1, p. 21-53.

_____. **Produção de milho**. Porto Alegre: Agropecuária, 2000b. 360 p.

FAO. **Deficit irrigation practices**. Rome: FAO, 2002. 111 p. (FAO Water Report, 22).

_____. Statistics Division. **FAOSTAT 2011**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 27 dez. 2011.

FARIAS, M.F.; SAAD, J.C.C. Qualidade comercial do crisântemo de vaso em ambiente protegido, cultivar puritan, irrigado sob diferentes tensões de água no substrato. **Irriga**, Botucatu, v. 8, p. 160-167, 2003.

FARRÉ, I.; FACI, J.M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 135-143, 2006.

FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. 4. ed. Passo Fundo: UPF, 2008. 749 p.

FOLEGATTI, M.V.; PAZ, V.P.S.; PEREIRA, A.S.; LIBARDI, V.C.M. Efeito de diferentes níveis de irrigação e de déficit hídrico na produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESO CHILENO DE ENGENIERIA AGRÍCOLA, 2., 1997, Chillán. **Resúmenes de trabajos...** Chillán, 1997. 1 Disquete.

FRIZZONE, J.A. **Análise de decisão de investimento em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 394 p.

_____. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24–49, dez. 2007.

GADIOLI, J.L. **Estimativa de produtividade de grãos e caracterização fitotécnica da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1999. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill.)**. 2014. 124 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1275-1284, 2009.

GODOY, L.J.G. **Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho (*Zea mays* L.) em solo arenoso baseado no índice relativo de clorofila**. 2002. 94p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

GOODGER, J.Q.D.; SCHACHTMAN, D.P. Re-examining the role of ABA as the primary long-distance signal produced by water-stresses roots. **Plant Signaling & Behavior**, Austin, v. 5, n. 10, p. 1298-1301, 2010.

HEINEMANN, A.B. Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 29-36, 2010.

HOSE, E.; CLARKSON, D.T.; STEUDLE, E.; SCHREIBER, L.; HARTUNG, W. The exodermis: a variable apoplastic barrier. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, p. 2245-2264, 2001.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

JALEEL, C.A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H.J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agricultural Biology**, Faisalabad, v. 11, p. 100–105, 2009.

JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1983. 829 p.

KAPPES, C.; CARVALHO, M.A.C.; YAMASHITA, O.M.; SILVA, J.A.N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

LACERDA, C.F.; NEVES, A.L.R.; GUIMARÃES, F.V.V.; SILVA, F.L.B.; PRISCO, J.T.; GHEYI, H.R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, p. 221-230, 2009.

LANDAU, E.C.; SANS, L.M.A.; SANTANA, D.P. Clima e solo. In: CRUZ, J.C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 1). Disponível em: <<http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de C.H.B.A. Prado e A.C. Franco. São Carlos: RiMa, 2000. 533 p.

LEBOURGEOIS, V.; CHOPART, J.L.; BERGUÉ, A.; MÉZO, L.L. Toward using a thermal infrared index combined with water balance modelling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 75-82, 2010.

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.

LIBERATO, M.A.R.; GONÇALVES, J.F.C.; CHEVREUIL, L.R.; NINA JÚNIOR, A.R.; FERNANDES, A.V.; SANTOS JÚNIOR, U.M. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll a fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, p. 315-323, 2006.

LIMA, M.E.; CARVALHO, D.F.; SOUZA, A.P.; ROCHA, H.S.; GUERRA, J.G.M. Desempenho do cultivo da berinjela em plantio direto submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 604-610, 2012.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. FAO. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/irrigacao_000fl7vsa7f02wyiv80ispcrr5frxoq4.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2010.

MAGALHÃES, P.C.; CARNEIRO, N.P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2002. (Circular Técnica, 22).

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. Fisiologia da produção. In: CRUZ, J.C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 3, p. 64-87

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região do cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 342-346, 2006.

MAIA, E.L. **Comportamento vegetativo de três espécies florestais sob estresse hídrico, com adubação orgânica em solos da região semi-árida nordestina**. 2005. 53 p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

MARINHO, L.B. **Irrigação plena e com déficit em pimenteira cv. Tabasco em ambiente protegido** Piracicaba, 2011. 103 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MARQUES, P.A.A. Viabilidade econômica sob condições de risco para a irrigação da cana-de-açúcar na região de Piracicaba- SP. **Irriga**, Botucatu, v. 11, p. 55-65, 2006.

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, jul./set. 2010.

MARTIN, J.D.; CARLESSO, R.; AIRES, N.P.; GATTO, J.C.; DUBOU, V.; FRIES, H.M.; SCHELIBLER, R.B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, ed. esp., p. 192-205, 2012.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 2011. 87 p. Tese (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MATOS, F.M. de; ANDRADE, C.L.T. de; AMARAL, T. A.; MOURA, B.F.; CASTRO, L.A. de; RODRIGUES, C.C.F.; PAIXÃO, J.S. Produtividade do milho cultivado sob diferentes regimes hídricos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: ABMS, 2012. p. 3244-3250.

McDERMIT, D.K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n.12, p. 1538-1548, 1990.

McLEAN, R.K.; Sri RANJAN, R.; KLASSEN, G. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation systems. **Canadian Agriculture Engineering**, Winnipeg, v. 42, n. 1, p. 1-5, 2000.

MELCHER, P.J.; MEINZER, F.C; YOUNT, D.E; GOLDSTEIN, G.; ZIMMERMAN, U. Comparative measurement of xylem pressure in transpiring and non-transpiring leaves by means of the pressure chamber and the xylem pressure probe. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 327, p. 1757-1760, Oct. 1998.

MELO, A.S.; SUASSUNA, J.F; FERNANDES, P.D; BRITO, M.E.B.; SUASSUNA, A.F.; NETTO, A.O.A. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; ROCHA, M.G. da. Potencial produtivo e qualitativo de híbridos de milho, sorgo e girassol para ensilagem. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 87-95, jan./mar. 2004.

MENDES, R.M.S.; TÁVORA, F.J.A.F.; PINHO, J.L.N.; PITOMBEIRA, J.B. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 38, p. 95-103, 2007.

MOTA, F.S. da. **Meteorologia agrícola**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1979. 376 p.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; MORAES, J.A.P.V.; BURITY, H.A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, A.D.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, A.E.S.; SIMEÃO, M.; MOUSINHO, F.E.P.; GOMES, R.L.F. Desenvolvimento do feijão-fava (*phaseolus lunatus l.*) sob déficit hídrico cultivado em ambiente protegido. **Holos**, Teresina, v. 1, p. 143-151, 2014.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440 p.

ORTEGA, J.F.; De JUAN, J.A.; MARTÍN-BENITO, J.M.; LÓPEZ-MATA, E. MOPECO: an economic optimization model for irrigation water management. **Irrigation Science**, San Anselmo, v. 23, n. 2, p. 61-75, 2004.

PARIZI, A.R.C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* l.) e milho (*Zea mays* l.) na região de Santiago, RS**. 2007. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PARIZI, A.R.C.; ROBAINA, A.D.; GOMES, A.C.S.; SOARES, F.C.; RAMÃO, C.J.; PEITER, M.X.; CALEGARO, L. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 254-267, jul./set. 2009.

PAVINATO, P.S.; CERETTA, C.A.E.; GIROTTI, 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.

PAYERO, R.K.; MARANVILLE, J.W.; ADMOU, A. Deficit irrigation and nitrogen effects of maize in a Sahelian environment. I: Grain yield and yield components. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 46, p. 1-13, 2006.

PEGORARE, A.B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S.B.; SOUZA, L.C.F.; FIETZ, C.R. Irrigação suplementar no ciclo de milho “safrinha” sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 262-271, maio/jun. 2009.

PEREIRA, L.S.; OEWIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 57, p. 175-206, 2002.

PEAK, D.; WEST, J.D.; MESSINGER, S.M.; MOTT, K.A. Evidence for complex collective dynamics and emergent, distributed computation in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v. 101, n. 4, p. 918-922, 2004.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Rio de Janeiro: EDUR, 2004. 191 p.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

PURQUERIO, L.F.V.; TIVELLI, S.W. **Manejo do ambiente em cultivo protegido**. 2006. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/tecnologia/MANEJO_Cultivo_protegido.htm. Acesso em: 20 jul. 2011.

QUANQI, L.; YUHAI, C.; MENGJU, L.; XUNBO, Z.; BAODI, D.; SONGLIE, Y. Water potential characteristics and yield of summer maize in different planting patterns. **Plant Soil Environment**, Shijiazhuang v. 54, n. 1, p. 14-19, 2008.

QUEIROZ, T.M.; CARVALHO, J.A.; RABELO, G.F.; ANDRADE, M.J.B. Avaliação de sistema alternativo de automação da irrigação do feijoeiro em casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 632-641, 2005.

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 Agrônomo, 1996. 39 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

RIBOLDI, L.B. **Variação da pressão de turgor de plantas de milho em condições de déficit hídrico**. 2014. 59 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) -Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.; BENSON, J.B. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26 p. (Special Report, 48).

RUFINO, C.A.; TAVARES, L.C; VIEIRA J.F.; DOR,C.S.; VILLELA, F.A.; SOUZA,A.C.;BARROS, A.C.S.A. Desempenho de genótipos de milho submetidos ao déficit hídrico no estágio vegetativo. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 24, n. 3, p. 217-225, jul./set. 2012.

SALOMÃO, L.C.; CANTUÁRIO, F.S.; PEREIRA, A.I.A.; SCHWERZ, T.; DOURADO, W.S. Influência do turno de rega na eficiência do uso da água de irrigação e na produtividade de plantas de alface cultivadas em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2029, 2014.

SANTOS, A.O.; PRADO, H., Análise de interações solo-planta-clima em zonas diferenciadas de área de cultivo de milho, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p 101–106, 2002.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V.F.; KLEIN, J.;FIOREZE, S.L; MACEDO JUNIOR, E.K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 836–842, 2012.

SANTOS, O.O.; FALCÃO, H.; ANTONINO, A.C.D.; LIMA, J.R.S.; LUSTOSA, B.M.; SANTOS, M.G. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p. 203-212, 2014.

SCHITTENHELM, S. Effect of drought stress on yield and quality of maize/sunflower and maize/sorghum intercrops for biogas production. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 196, p. 253–261, 2010.

SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2002.

SCHOLANDER, P.F.; HAMME, H.T.; HEMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potential of leaves in mangroves and some other plants. **Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia**, Philadelphia, v. 52, p. 119-125, 1964.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, London, v. 52, p. 591–611. 1965.

SILVA, A.R.A.; BEZERRA, F.M.L.; FARIAS, C.A.S.;AMORIM, A.V.; CARVALHO, L.C.C., FILHO, J.V.P. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura do girassol nas condições do semiárido cearense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 38-51, 2014.

SILVA, D.F. Biocombustíveis e produção animal impulsionarão a cultura. In: FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2004**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2004. p. 373-374.

SILVA, W.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; FIRMINO, L.E. Taxa transpiratória de mudas de eucalipto em resposta a níveis de água no solo e à convivência com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 923-928, 2000.

SOUSA, R. S. **Fenotipagem em milho para identificação de genótipos tolerantes à deficiência hídrica**. 2012. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

SOUZA, A. Relações entre estádios fenológicos de três cultivares de arroz e graus-dia e dias de calendário para a microrregião de Dourados – MS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 1 n. 1/2, p. 18-24, 1996.

SOUZA, C.H.E.; MACHADO, V.J.; NETO, I.P.; BENEDETTI, T.C.; LANA, R.M.Q. Extratores para fósforo disponível em Latossolos e eficiência de fontes fosfatadas para milho cultivado em vaso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 1, p. 38-46, 2011.

STEWART, J.L.; HANKS, R.J.; DANIELSON, R.E.; JACKSON, E.B.; PRUITT, W.O.; FRANKLIN, W.T.; RILEY, J.P.; HAGAN, R.M. **Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil**. Logan: Utah State University, Utah Water Research Laboratory, 1977. 191 p. (Report, PRWG151-1).

STEWART, J.I.; HAGAN, R.M. Functions to predict effects of crop water deficits. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 99, n. 4, p. 421-439, 1973.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

_____. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

_____. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **World markets and trade: grain**. 2011. (Circular Series, FG 01-11). Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1487>>. Acesso em: 27 dez. 2011.

_____. **Reportes USA: source juice**. Disponível em: <<http://www.sourcejuice.com/1303511/2010/01/15/2009-10produ%C3%A7%C3%A3o-mundial-milho-aumentado-796toneladas/pt/%3E.%20%20>>. Acesso: 01 dez. 2012.

VAN GENUCHTEN, M. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VIANA, T.V.A.; FOLEGATTI, M.V.; AZEVEDO, B.M.; SENTELHAS, P.C.; SILVA, F.C. Avaliação da influência de elementos meteorológicos sobre a cultura da alface, em ambiente protegido versus condição externa sobre gramado, obtidos com sistemas automáticos. **Engenharia Rural**, Cidade, v. 12, p. 41-51, 2001.

VIEIRA JUNIOR, P.A.; DOURADO-NETO, D.; OLIVEIRA, R.F.; BONERCARRERE, R.A. Relações entre potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.

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.; NICOLAY, R.J.; SANTOS, R.F.; BORSOI, A.; SECCO, 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, v. 4, n. 1, p. 150–159, 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.

ZIMMERMANN, F.L. **Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo**. 2001. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

APÊNDICE

Apêndice A- Imagens do local dos experimentos

ANEXOS

Tabela 28 - Dados meteorológicos de Radiação global, umidade relativa média e evapotranspiração de referência referente ao experimento 1 (esquerda) e experimento 2 (direita) (continua)

RG	UR(%)	ETo(mm)	dia	RG	UR(%)	ETo(mm)	dia
13,78	77,29	2,07	1	4,86	90,99	0,88	1
8,96	76,30	1,45	2	4,92	86,22	0,90	2
8,25	83,21	1,00	3	5,91	84,24	1,13	3
3,08	86,49	0,54	4	7,88	86,55	1,31	4
3,71	94,96	0,38	5	9,42	82,36	1,57	5
10,76	96,49	1,38	6	8,52	80,98	1,52	6
12,68	77,98	1,50	7	4,11	86,07	0,89	7
13,78	77,29	2,07	8	4,99	81,32	1,07	8
8,96	76,30	1,45	9	6,91	79,75	1,37	9
6,25	83,21	1,00	10	3,60	92,30	0,71	10
3,08	86,49	0,54	11	4,80	88,05	0,93	11
1,71	94,96	0,38	12	5,97	94,81	0,49	12
10,76	96,49	1,38	13	8,83	96,43	0,45	13
12,68	77,98	1,50	14	3,27	91,99	0,70	14
13,22	76,76	1,71	15	5,30	98,78	0,24	15
13,95	75,36	1,85	16	10,82	73,96	0,24	16
12,59	79,98	1,78	17	10,82	70,96	1,99	17
12,62	75,25	1,80	18	10,82	74,96	2,00	18
13,07	72,00	1,85	19	10,82	77,96	2,00	19
11,82	72,32	1,77	20	10,82	74,96	2,00	20
12,27	77,84	1,74	21	9,23	82,80	2,01	21
10,46	77,99	1,57	22	9,19	80,59	1,61	22
12,10	71,06	1,85	23	9,37	80,33	1,66	23
4,21	89,68	0,76	24	9,47	77,86	1,69	24
6,40	85,15	1,11	25	7,46	82,82	1,73	25
2,38	93,50	0,50	26	8,12	79,71	1,39	26
5,29	85,39	0,89	27	8,84	81,82	1,50	27
10,71	77,70	1,55	28	5,15	90,86	1,60	28
11,74	75,98	1,61	29	8,84	81,50	1,58	29
12,08	72,67	1,74	30	8,37	79,58	1,59	30
11,69	78,02	1,66	31	5,98	86,80	1,18	31
11,54	77,09	1,73	32	8,62	81,84	1,59	32
11,97	77,64	1,76	33	7,63	84,44	1,41	33
9,60	81,21	1,48	34	9,21	81,63	1,65	34
11,22	80,46	1,68	35	9,48	77,12	1,76	35
8,36	84,19	1,55	36	5,20	85,33	1,10	36
5,72	88,39	1,50	37	7,96	82,60	1,55	37
10,34	84,03	1,46	38	5,10	82,69	1,17	38
11,81	80,53	1,41	39	5,04	88,64	1,04	39
11,80	79,49	1,36	40	1,18	92,47	0,43	40

Tabela 29- Dados meteorológicos de Radiação global, umidade relativa média e evapotranspiração de referência referente ao experimento 1 (esquerda) e experimento 2 (direita) (continuação)

RG	UR(%)	ETo(mm)	dia	RG	UR(%)	ETo(mm)	dia
12,14	79,83	1,31	41	3,17	84,52	0,71	41
11,85	79,67	1,26	42	2,47	90,36	0,57	42
10,11	80,65	1,74	43	4,05	87,51	0,79	43
3,63	91,70	0,71	44	10,05	78,69	1,71	44
11,59	85,00	1,81	45	9,04	82,59	1,52	45
11,77	81,91	1,90	46	10,31	68,78	1,85	46
21,90	78,99	3,20	47	10,28	72,83	1,86	47
1,82	95,71	0,44	48	10,31	72,80	1,90	48
3,00	95,04	0,60	49	10,17	71,59	1,96	49
2,70	95,09	0,56	50	10,01	71,19	1,96	50
2,08	94,02	0,49	51	18,99	70,51	3,23	51
6,72	86,57	1,26	52	9,69	67,67	1,99	52
8,52	88,98	1,33	53	9,23	73,44	1,89	53
9,57	84,06	1,65	54	8,81	74,87	1,83	54
9,05	84,68	1,59	55	9,28	72,83	1,89	55
6,91	90,13	1,19	56	9,09	67,35	1,91	56
12,16	91,13	1,90	57	9,18	66,85	1,97	57
9,57	85,41	1,62	58	9,27	67,41	1,90	58
10,58	81,24	1,77	59	6,93	73,68	1,95	59
10,93	82,57	1,76	60	9,90	72,52	1,36	60
7,27	79,36	1,38	61	6,13	73,11	1,84	61
2,33	93,24	0,55	62	2,48	82,31	1,42	62
1,39	97,42	0,38	63	10,23	73,95	0,72	63
1,72	97,26	0,43	64	10,24	70,01	1,67	64
5,31	93,23	0,93	65	7,54	76,28	1,89	65
11,61	83,32	1,76	66	7,03	76,08	1,46	66
11,76	84,09	1,90	67	8,71	73,36	1,75	67
9,18	88,24	1,51	68	9,96	68,21	1,99	68
11,58	80,08	1,85	69	9,49	68,46	1,92	69
11,51	81,62	1,86	70	6,02	65,82	1,55	70
9,37	81,78	1,63	71	10,24	63,53	2,26	71
10,24	79,13	1,79	72	9,44	67,29	2,07	72
11,21	76,42	1,99	73	10,02	63,17	2,21	73
11,53	80,24	1,99	74	5,21	74,29	1,29	74
11,52	79,84	2,02	75	3,33	82,06	0,80	75
11,56	79,56	2,01	76	10,83	69,70	1,87	76
11,33	76,01	1,98	77	11,31	68,02	2,05	77
11,62	75,39	2,07	78	11,54	63,59	2,28	78
21,86	76,52	3,42	79	11,22	60,47	2,28	79
6,00	79,35	1,27	80	11,06	57,21	2,41	80
5,18	87,38	0,98	81	9,23	58,86	2,13	81
12,15	77,65	1,95	82	3,58	79,82	0,97	82
11,86	79,01	2,02	83	11,97	87,26	0,62	83

Tabela 30 - Dados meteorológicos de Radiação global, umidade relativa média e evapotranspiração de referência referente ao experimento 1 (esquerda) e experimento 2 (direita) (continuação)

RG	UR(%)	ETo(mm)	dia	RG	UR(%)	ETo(mm)	dia
11,86	79,01	2,02	83	11,97	87,26	0,62	83
11,07	77,93	1,98	84	11,11	73,45	2,15	84
4,51	86,28	0,97	85	21,64	69,41	3,68	85
12,70	73,78	1,98	86	11,58	67,74	2,30	86
12,32	76,23	1,91	87	11,67	62,93	2,42	87
12,61	74,11	1,96	88	11,61	57,84	2,50	88
4,46	88,25	0,86	89	11,82	57,91	2,52	89
7,12	88,79	1,25	90	11,46	60,65	2,46	90
10,86	81,73	1,71	91	12,00	56,81	2,57	91
12,69	81,88	1,95	92	11,98	56,13	2,58	92
12,74	78,97	2,03	93	11,58	53,48	2,56	93
13,18	74,15	2,16	94	9,91	54,53	2,37	94
11,87	74,25	2,16	95	6,69	60,47	1,82	95
11,09	74,98	2,17	96	10,42	94,21	0,44	96
11,20	75,62	2,15	97	5,27	88,14	0,81	97
10,75	73,52	2,10	98	10,37	77,53	2,10	98
10,82	74,96	2,09	99	11,62	72,34	2,44	99
12,28	71,09	2,35	100	12,09	63,14	2,73	100
11,12	75,66	2,13	101	5,95	69,76	1,61	101
12,18	70,34	2,28	102	7,66	74,89	1,74	102
10,39	78,38	1,86	103	5,82	80,21	0,99	103
9,58	79,05	1,76	104	6,58	62,93	2,28	104
10,90	78,18	1,97	105	9,97	57,84	2,41	105
11,70	74,89	2,13	106	11,11	57,91	2,13	106
12,61	72,52	2,32	107	21,64	60,65	0,97	107
12,57	72,46	2,32	108	11,58	56,81	2,52	108
10,58	76,22	1,96	109	11,67	56,13	2,46	109
12,74	71,53	2,27	110	11,61	53,48	1,74	110
12,77	70,99	2,28	111	11,82	54,53	0,99	111
23,77	71,38	3,82	112	11,46	60,47	2,56	112
12,90	70,57	2,34	113	12,00	94,21	2,37	113
12,64	71,18	2,29	114	11,98	88,14	0,62	114
12,00	69,63	2,27	115	11,58	77,53	2,15	115
13,02	67,55	2,38	116	9,91	72,34	0,81	116
12,32	66,29	2,33	117	6,69	63,14	2,10	117
11,70	66,40	2,26	118	9,42	69,76	2,44	118
12,37	68,52	2,35	119	3,27	74,89	2,50	119
10,10	73,01	1,98	120	10,37	80,21	1,82	120
11,90	66,85	2,32	121	11,62	94,21	0,44	121
11,28	68,89	2,17	122	12,09	88,14	3,68	122
10,85	68,34	2,12	123	5,95	77,53	2,30	123

Tabela 31- Dados meteorológicos de Radiação global, umidade relativa média e evapotranspiração de referência referente ao experimento 1 (esquerda) e experimento 2 (direita) (conclusão)

RG	UR(%)	ETo(mm)	dia	RG	UR(%)	ETo(mm)	dia
10,85	68,34	2,12	123	5,95	77,53	2,30	123
10,66	67,28	2,12	124	7,66	72,34	2,42	124
9,60	59,42	2,07	125	3,82	74,89	2,73	125
12,73	60,66	2,49	126	11,98	80,21	1,61	126
13,65	56,68	2,55	127	11,58	62,93	2,57	127
11,24	64,41	2,23	128	9,91	57,84	2,58	128
10,85	62,99	2,24	129	11,67	56,13	2,56	129
12,83	60,43	2,60	130	9,91	72,34	2,73	130
11,19	66,63	2,26	131	6,69	63,14	1,61	131
10,73	70,18	2,17	132	11,98	88,14	2,10	132
10,23	79,07	1,72	133	11,58	77,53	2,44	133
				3,27	74,89	0,99	134
				10,37	80,21	2,28	135
				11,62	94,21	2,41	136
				11,61	53,48	2,37	137
				9,42	69,76	1,74	138
				11,46	60,47	0,44	139
				12,00	94,21	0,81	140
				11,82	54,53	1,82	141
				9,97	88,14	1,70	142
				11,11	77,53	2,42	143
				21,64	72,34	2,73	144
				11,58	74,89	1,61	145
				11,67	80,21	2,57	146
				10,30	62,93	1,50	147
				9,18	74,57	1,75	

Tabela 32- Medições do potencial hídrico (Mpa) foliar referentes ao dia 14-9-2013

Tratamento	Hora do dia						
	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
EEEE	0,11	0,17	0,34	0,41	0,46	0,35	0,23
	0,13	0,15	0,35	0,45	0,45	0,37	0,26
	0,13	0,16	0,35	0,42	0,46	0,38	0,27
	0,12	0,12	0,36	0,43	0,46	0,33	0,24
IIII	0,16	0,21	0,38	0,59	0,48	0,37	0,23
	0,19	0,22	0,4	0,59	0,49	0,37	0,28
	0,19	0,27	0,36	0,58	0,5	0,36	0,24
	0,18	0,25	0,37	0,58	0,53	0,4	0,24
D50	0,32	0,28	0,4	0,63	0,65	0,51	0,35
	0,36	0,3	0,42	0,6	0,63	0,55	0,33
	0,35	0,32	0,42	0,61	0,63	0,55	0,35
	0,35	0,33	0,43	0,61	0,65	0,53	0,36
D70	0,31	0,32	0,49	0,67	0,7	0,5	0,3
	0,38	0,37	0,5	0,69	0,78	0,59	0,38
	0,38	0,35	0,5	0,7	0,79	0,6	0,38
	0,39	0,39	0,52	0,7	0,75	0,6	0,39

Tabela 33- Medições do potencial hídrico foliar referentes ao dia 10-7-2013

Tratamento	Hora do dia						
	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
EEEE	0,12	0,38	0,49	0,5	0,51	0,28	0,25
	0,13	0,38	0,48	0,5	0,52	0,3	0,25
	0,11	0,37	0,51	0,54	0,5	0,27	0,23
	0,10	0,38	0,52	0,54	0,5	0,28	0,22
IIII	0,20	0,39	0,72	0,53	0,52	0,3	0,28
	0,20	0,38	0,7	0,53	0,52	0,35	0,28
	0,23	0,4	0,7	0,59	0,52	0,3	0,28
	0,23	0,39	0,76	0,6	0,55	0,32	0,26
D50	0,29	0,59	0,83	1,12	0,61	0,68	0,59
	0,30	0,59	0,81	1,1	0,69	0,67	0,55
	0,30	0,57	0,8	1,1	0,67	0,66	0,54
	0,27	0,58	0,8	1	0,62	0,66	0,52
D70	0,28	0,58	0,9	0,9	0,68	0,61	0,52
	0,28	0,59	0,97	1,2	0,7	0,65	0,55
	0,28	0,6	0,96	1	0,7	0,69	0,55
	0,30	0,6	0,97	0,96	0,71	0,7	0,59

Tabela 34- Medições do potencial hídrico foliar referentes ao dia 17-08-2013

Tratamento	Hora do dia						
	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
EEEE	0,15	0,3	0,85	0,49	0,75	0,41	0,35
	0,13	0,4	0,84	0,49	0,75	0,4	0,34
	0,12	0,35	0,84	0,48	0,76	0,41	0,32
	0,14	0,37	0,83	0,48	0,74	0,42	0,32
III	0,27	0,3	0,91	0,93	0,92	0,53	0,4
	0,22	0,29	0,92	0,9	0,95	0,53	0,41
	0,2	0,29	0,93	0,92	0,94	0,52	0,41
	0,23	0,28	0,9	0,93	0,94	0,5	0,43
D50	0,31	0,75	1,22	1,21	1,21	0,68	0,8
	0,28	0,7	1,2	1,9	1,22	0,69	0,79
	0,29	0,71	1,2	1,21	1,22	0,69	0,72
	0,29	0,71	1,21	1,21	1,23	0,61	0,72
D70	0,49	0,62	1,55	1,2	1,11	0,6	0,5
	0,45	0,62	1,53	1,23	1,15	0,65	0,55
	0,47	0,63	1,54	1,23	1,13	0,65	0,52
	0,47	0,7	1,52	1,25	1,14	0,65	0,54