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

**Resposta da transpiração e do crescimento foliar de cultivares de
crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) à fração de água
transpirável no substrato**

Cláudio Renato Schlessner Kelling

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

Cláudio Renato Schlessner Kelling
Engenheiro Agrônomo

**Resposta da transpiração e do crescimento foliar de cultivares de crisântemo
(*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) à fração de água transpirável no substrato**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **KLAUS REICHARDT**

Coorientador:
Prof. Dr. **NEREU AUGUSTO STRECK**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

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

Kelling, Cláudio Renato Schlessner

Resposta da transpiração e do crescimento foliar de cultivares de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) à fração de água transpirável no substrato / Cláudio Renato Schlessner Kelling.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
74 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Deficiência hídrica 2. Fechamento estomático 3. Área foliar 4. Floricultura I. Título

CDD 635.93355
K29r

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

À minha esposa, Mônica Brucker Kelling,
pelo amor, pela força e pelo companheirismo.

Aos meus amados filhos Matheus e Marina,
por participarem deste momento.

Aos meus pais,
Erno Kelling (*in memoriam*) e Azilda Matilda Schlessner Kelling, pelo exemplo
de persistência para vencer dificuldades e pelo incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À energia criadora do universo, que rege com equilíbrio tudo nesta vida.

À minha esposa, Mônica, aos meus filhos, Matheus e Marina, razões principais da minha busca pelos objetivos da vida.

A meus pais, Erno (*in memoriam*) e Azilda e aos meus irmãos, Airton, Elaine e Gládis, que muito participaram nas minhas conquistas.

À Escola Superior em Agricultura “Luiz de Queiróz”, da Universidade de São Paulo (USP), e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da ESALQ, pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Dr. Klaus Reichardt, pela orientação, pelo incentivo e pela amizade durante a realização do curso.

Ao Prof. Dr. Nereu Augusto Streck, pela orientação, amizade, acessibilidade, pelo incentivo e por acreditar no meu potencial e no projeto proposto.

À Professora Isabel Lago, pelas orientações, pelo auxílio e pela amizade.

Ao doutorando Alencar Júnior Zanon, pelo auxílio importantíssimo nas análises estatísticas e amizade.

Aos mestres Diego Garrido Pinheiro e André Trevisan de Souza, pelos esclarecimentos.

A todos os professores que atuaram durante o curso, cujos conhecimentos muito contribuíram.

Aos colegas Adriano Michel, Fernando Machado dos Santos, João Flávio Cogo Carvalho, Jorge Alex Willes, Lisandra Pinto Della Flora, Luís Alberto Cadoná, Marcelo Antônio Rodrigues, Paulo Artur Konzen Xavier de Mello e Silva, Rosemari Kerber Aires e Wolmar Trevisol, pelos bons momentos durante o curso e pela amizade. Em especial, ao colega Marcelo Antônio Rodrigues, pelo auxílio e pela disponibilização da infraestrutura do Setor de Floricultura do Colégio Politécnico da UFSM para a realização do estudo.

À funcionária Luciane Aparecida Lopes Toledo, pelo apoio, pela colaboração e amizade durante o curso.

Ao Coordenador do Curso, Jean Karlo Acosta Mendonça, pela administração do Projeto Dinter e acessibilidade.

À Capes, por proporcionar o Projeto Dinter e pela concessão da bolsa de estudo, fundamental para o desenvolvimento do estágio em Piracicaba.

Ao Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, pelo incentivo e pela dispensa das atividades para a realização deste trabalho.

Aos colegas Professores do Colégio Politécnico da UFSM, por terem arcado com os encargos de minha responsabilidade.

À funcionária do Colégio Politécnico da UFSM, Fabiane da Silva Montoli, pela colaboração e amizade.

Ao Instituto Federal Farroupilha, pela agilização do convênio ESALQ (USP)/IF Farroupilha/IF Rio Grande do Sul/UFSM.

Aos bolsistas do Setor de Floricultura do Colégio Politécnico da UFSM, Luciano, Jéssica, Adriana, Júlia, Thaís, Andressa e Sabrina.

Aos bolsistas e voluntários do Grupo de Pesquisa em Agrometeorologia, do Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFSM, pela colaboração, receptividade e amizade.

A todos que me apoiaram e incentivaram.

Muito obrigado!

*“O aumento do conhecimento é uma esfera dilatando-se no espaço:
quanto maior a nossa compreensão, maior o contato com o desconhecido.”*

Blaise Pascal

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE ABREVIATURAS.....	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Caracterização do crisântemo e influência das condições ambientais sobre a cultura	23
2.2 Deficiência hídrica.....	25
2.3 A cultura do crisântemo e a deficiência hídrica	31
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Instalação dos experimentos.....	33
3.2 Aplicação dos tratamentos e análise das variáveis	37
3.3 Normalização e ajustes dos dados referentes à Transpiração Relativa e ao Crescimento Foliar Relativo.....	42
3.4 Elementos meteorológicos medidos	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	67

RESUMO

Resposta da transpiração e do crescimento foliar de cultivares de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) à fração de água transpirável no substrato

Entender os mecanismos de defesa das plantas de crisântemo em resposta à deficiência hídrica é importante no processo produtivo desta cultura. O objetivo neste trabalho foi determinar a resposta da transpiração e do crescimento foliar, de cultivares de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.), ao conteúdo de água disponível em substrato, representado pela fração de água transpirável em substrato (FATS). Foram realizados dois experimentos, no setor de floricultura do Colégio Politécnico da UFSM, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, sendo um no fim da primavera de 2011, com aplicação dos tratamentos a partir de 09/12/2011 – e um no inverno de 2012, com aplicação dos tratamentos a partir de 07/07/2012. As plantas foram cultivadas em vasos de 2,8 litros, preenchidos com substrato e dispostos no interior de uma casa de vegetação com controle de temperatura. As cultivares de crisântemo utilizadas foram a Cherry White (de vaso), Repin Bronze (de corte), Apple Valley (de vaso) e Calábria (de corte). A FATS, a transpiração e o crescimento foliar foram determinados diariamente durante o período de imposição da deficiência hídrica em cada experimento. A FATS crítica no crisântemo que começa a afetar a transpiração, indicativo do início do fechamento estomático, é de 0,63 para a cultivar Cherry White; 0,60 para a cultivar Repin Bronze; 0,53 para a cultivar Apple Valley; e 0,51, para a cultivar Calábria. A redução do crescimento foliar inicia com um valor de FATS crítica de 0,67 para a cultivar Cherry White; 0,69 para a cultivar Repin Bronze; 0,59 para a cultivar Apple Valley e 0,54, para a cultivar Calábria. As cultivares Cherry White e Repin Bronze apresentam maior tolerância ao déficit hídrico do que as cultivares Apple Valley e Calábria. O crescimento foliar começa ser reduzido com um valor de FATS crítica maior do que o valor de FATS crítica em que a transpiração começa a ser reduzida. A deficiência hídrica afeta negativamente as variáveis de crescimento e de desenvolvimento de cultivares de crisântemo.

Palavras-chave: Deficiência hídrica; Mecanismos de defesa; Fechamento estomático; Área foliar; Floricultura

ABSTRACT

Response of transpiration and leaf growth of chrysanthemum cultivars (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) to the fraction of transpirable substrate water

Understand the defense mechanisms of plants of chrysanthemum in response to water stress is important in the production process of this crop. The objective of this study was to determine the response of the plant to transpiration and leaf growth of chrysanthemum cultivars (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.), related to the available water content in the substrate, represented by the fraction of transpirable substrate water (FTSW). Two Greenhouse experiments were conducted in the flower sector of the Polytechnic College UFSM, using a completely randomized design. One started end of spring of 2011, with application of treatments on 09/12/2011 and the second in winter 2012, with application of treatments on 07/07/2012. Plants were grown in 2.8 liter pots filled with substrate and arranged inside a greenhouse with temperature control. The chrysanthemum cultivars were Cherry White (potted), Repin Bronze (for cut), Apple Valley (potted) and Calabria (for cut). The FTSW, transpiration and leaf growth were determined daily during the period of imposition of water deficit in each experiment. The threshold FTSW for Chrysanthemum that begins to affect transpiration, is an indicative of early stomatal closure and was 0.63 for the cultivar Cherry White, 0.60 for Repin Bronze, 0.53 for Apple Valley and 0.51, for Calabria. Leaf growth began to be reduced at a threshold FTSW of 0.67 for Cherry White, 0.69 for Repin Bronze, 0.59 for Apple Valley and 0.54, for Calabria. Cultivars Cherry White and Bronze Repin proved to be more tolerant to water deficit than the cultivars Apple Valley and Calábria. The reduced leaf growth starts with a threshold FTSW value larger than the threshold FTSW value related to reduced transpirations. The water deficit negatively affected the variables of growth and development of the chrysanthemum cultivars.

Keywords: Water stress; Defense mechanisms; Stomatal closure; Leaf area; Floristry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico representativo, adaptado de Sinclair e Ludlow (1986), dos estágios de hidratação das plantas, associados ao conteúdo de água no solo	28
Figura 2 – Modelo generalizado adaptado de Weisz, Kaminski e Smilowitz (1994), de respostas fisiológicas (transpiração e crescimento foliar) ao déficit hídrico, representado pela fração de água transpirável no solo. A coluna 1 expressa a resposta da transpiração de alfafa, milho, algodão, sorgo granífero e soja cultivados a campo, e feijão mungo, caupi, guandu e soja cultivados em casa de vegetação; a coluna 2 de sorgo granífero e algodão cultivados em casa de vegetação; a coluna 3 de sorgo granífero cultivado a campo; a coluna 4 expressa a resposta do crescimento foliar de soja cultivada em casa de vegetação; a coluna 5 de sorgo granífero cultivado em casa de vegetação e a coluna 6 de algodão cultivado em casa de vegetação e sorgo granífero cultivado a campo ..	32
Figura 3 - Vista geral da casa de vegetação (Fonte: Marcelo Antônio Rodrigues, 2011).....	33
Figura 4 – Vista das inflorescências das cultivares Cherry White, Apple Valley, Repin Bronze e Calábria. Fonte: Brasil Flor	34
Figura 5 – Vista do local de enraizamento de estacas de cultivares de crisântemo. Santa Maria, RS, 2011	35
Figura 6 – Visão geral do experimento EPOC2, Santa Maria, RS, 2012.....	36
Figura 7 – Vista das plantas com e sem déficit hídrico no dia do encerramento do Experimento (EPOC2), Santa Maria, RS, 2012.....	38
Figura 8 – Vista das cultivares de crisântemo em vasos, no ensaio em branco, utilizado para a determinação da área foliar. Santa Maria, RS, 2011	40
Figura 9 - Miniabrigo meteorológico utilizado nos experimentos EPOC1 e EPOC2, Santa Maria, RS, 2011	44
Figura 10 – Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax) diárias do ar (a) e densidade de fluxo de radiação solar global diária incidente estimada (b) no interior da casa de vegetação durante os experimentos com a cultura do crisântemo (EPOC1 e EPOC 2), Santa Maria, RS, 2011-2012.....	46
Figura 11 - Umidade relativa do ar (a) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário (b) no interior da casa de vegetação durante os dois experimentos com a cultura do crisântemo (EPOC1 e EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012	48

Figura 12 - Equação da área foliar ajustada para a cultivar Cherry White – comprimento da folha (C) em cm e área foliar (AF) em cm ²	51
Figura 13 - Equação da área foliar para a cultivar Repin Bronze – comprimento da folha (C) em cm e área foliar (AF) em cm ²	51
Figura 14 – Equação da área foliar ajustada para a cultivar Apple Valley – comprimento da folha (C) em cm e área foliar (AF) em cm ²	52
Figura 15 - Equação da área foliar ajustada para a cultivar Calábria – comprimento da folha (C) em cm e área foliar (AF) em cm ²	52
Figura 16 – Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no substrato (FATS) para as cultivares de crisântemo Cherry White, Repin Bronze, Apple Valley e Calábria, cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico respectivamente em 09/12/2011 – EPOC1 (a, c, e, g) e 07/07/2012 – EPOC2 (b, d, f, h), Santa Maria, RS, 2011-2012. FATS crítica: fração de água transpirável no substrato, quando inicia a redução da transpiração das plantas devido ao início do fechamento estomático	59
Figura 17 – Crescimento Foliar Relativo normalizado (CFR) em função da fração de água transpirável no substrato (FATS) para as cultivares de crisântemo Cherry White, Repin Bronze, Apple Valley e Calábria, cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico, respectivamente, em 09/12/2011 – EPOC1 (a, c, e, g) e 07/07/2012 – EPOC2 (b, d, f, h), Santa Maria, RS, 2011-2012. FATS crítica: Fração de água transpirável no substrato, quando inicia a redução do crescimento foliar relativo das plantas, devido ao início do fechamento estomático	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Data de implantação e transplante, bem como do início e do fim dos dois experimentos com a cultura do crisântemo (EPOC1 e EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012.....	45
Tabela 2 - Número de repetições utilizadas na análise dos dados de cada cultivar e tratamento nos dois experimentos com a cultura do crisântemo (EPOC1 e EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012.....	49
Tabela 3 - Altura média inicial e final, diâmetro da base inicial e final das cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Repin Bronze (RB), Apple Valley (AV) e Calábria (CA) submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOC1) e 07/07/2012 (EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012.....	50
Tabela 4 - Número médio de folhas inicial e final, área foliar média inicial e final das cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Repin Bronze (RB), Apple Valley (AV) e Calábria (CA) submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOC1) e 07/07/2012 (EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012.....	54
Tabela 5 - Biomassa seca radicular, aérea e total no início e no final do período de imposição do déficit hídrico para as cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Repin Bronze (RB), Apple Valley (AV) e Calábria (CA) submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação em dois experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOC1) e 07/07/2012 (EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012.....	55
Tabela 6 – Transpiração total média, consumo médio diário de água, coeficiente de transpiração das cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Repin Bronze (RB), Apple Valley (AV) e Calábria (CA) submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOC1) e 07/07/2012 (EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012	56

Tabela 7 - Fração de água transpirável no substrato em que inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para a transpiração relativa (TR) e para o crescimento foliar relativo (CFR) das cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Apple Valley (AP), Repin Bronze (RB) e Calábria (CA), submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação em dois experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOCA1) e 07/07/2012 (EPOCA2), Santa Maria, RS, 2011-2012..... 58

Tabela 8 - Fração de água transpirável no substrato em que inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para transpiração relativa (TR) e para o crescimento foliar relativo (CFR) das cultivares de vaso (Cherry White e Apple Valley) e das cultivares de corte (Repin Bronze e Calábria), submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOCA1) e 07/07/2012 (EPOCA2), Santa Maria, RS, 2011-2012..... 63

LISTA DE ABREVIATURAS

ABA – Ácido Abscísico

AF – Área Foliar

AIB – Ácido Indol Butírico

AV – Apple Valley

C – Comprimento da Folha

CA – Calábria

CAD – Capacidade de Armazenamento de Água Disponível

CC – Capacidade de Campo

CFR – Crescimento Foliar Relativo

CT – Coeficiente de Transpiração

CW – Cherry White

DPV – Déficit Pressão de Vapor

ECA – Evaporação do Tanque Classe A

EPOC1 – Época 1

EPOC2 – Época 2

FAD – Fração de Água Disponível

FATS – Fração de Água Transpirável no Substrato

PMP – Ponto de Murcha Permanente

PRNT – Poder Relativo de Neutralização Total

QTA – Quantidade Total de Água Armazenada

r^2 – Coeficiente de Determinação

RB – Repin Bronze

SBCS/CQFS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade
do Solo

T1 – Tratamento 1

T2 – Tratamento 2

TR – Transpiração Relativa

UR – Umidade Relativa

1 INTRODUÇÃO

O crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.), como flor de corte ou de vaso, é uma das espécies de plantas ornamentais mais comercializadas no Brasil, gerando um grande número de postos de trabalho, além de envolver um valor econômico alto na cadeia produtiva dessa cultura.

Conforme dados de comercialização da empresa Veiling Holambra, houve um crescimento acentuado do mercado desse produto, passando-se de uma comercialização de 391 mil vasos, em 1992, para 1,8 milhões de vasos, em 1997 (MOTOS; OLIVEIRA, 1998). A comercialização de vasos de crisântemo na empresa Veiling Holambra, em 2011, ultrapassou 9,3 milhões (VEILING, 2012).

Na agricultura moderna, é necessária a adoção de tecnologias que otimizem o processo produtivo, porém, segundo Rego et al. (2009), existem poucas informações técnicas relacionadas ao cultivo de crisântemo, por ser recente no país, em comparação com outras, já tradicionais. Atualmente estão disponíveis para as condições brasileiras, técnicas básicas de cultivo de crisântemo (espaçamento, controle foto periódico, adubação, combate a pragas e doenças), sendo necessários maiores estudos quanto ao manejo da água na cultura, uma vez que a irrigação tem sido realizada de forma empírica, cujo sistema mais utilizado é o sistema de gotejamento.

A água é o elemento mais importante para a cultura, por ser fundamental no metabolismo das plantas, e uma redução de sua disponibilidade no solo pode afetar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

Analisar as respostas das plantas e seus mecanismos de defesa à deficiência hídrica é de grande importância para potencializar a produtividade das culturas. Entretanto, a quantificação do impacto da disponibilidade de água no solo sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal tem recebido pouca atenção (CARLESSO, 1995).

Para expressar o conteúdo de água no solo e, por consequência, a deficiência hídrica no solo, pode-se utilizar indicadores, representativos da quantidade total de água armazenada (QTA), da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), da fração de água disponível (FAD) e da fração de água transpirável no solo (FATS), sendo a FATS, o indicador que apresenta vantagens sobre os demais (SANTOS; CARLESSO, 1998).

A fração de água transpirável no solo (FATS) tem sido utilizada na avaliação de respostas das plantas à deficiência hídrica. Conforme Sinclair e Ludlow (1986), no conceito de FATS, o conteúdo de água no solo consumido para a transpiração pela planta, está em um

intervalo entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo quando a transpiração é potencial, e o conteúdo de água no solo quando a transpiração da planta é igual a 10% da potencial. Esse conceito parece ser o que mais se aproxima da realidade, como indicador da quantidade real de água no solo, que pode ser extraída pelas plantas para utilização na transpiração (SANTOS; CARLESSO, 1998).

Respostas da transpiração, de crescimento e de desenvolvimento à FATS já foram estudadas para algumas culturas, bem como alguns aspectos relacionados à resposta da deficiência hídrica na cultura do crisântemo, porém, com relação à fração de água transpirável no substrato, ainda não existem estudos e análises, o que constituiu a motivação principal para propor este projeto. Segundo Beckmann–Cavalcant et al. (2009), para o adequado desenvolvimento da planta e a obtenção de produtividade satisfatória, é essencial a reposição de água e nutrientes em quantidade e momento adequados. Portanto, sendo a cultura do crisântemo de grande importância econômica em nível estadual e nacional, há a necessidade de se estudar mais profundamente sua transpiração, seu crescimento e desenvolvimento em resposta à deficiência hídrica.

A hipótese, neste estudo, é que a metodologia para a determinação da FATS crítica é adequada para representar a resposta do crisântemo ao secamento do substrato.

Em função da realidade exposta, têm-se como objetivo geral deste trabalho quantificar a influência da deficiência hídrica sobre a transpiração, o crescimento e desenvolvimento de cultivares de crisântemo. Como objetivos específicos, pretende-se: (i) determinar a fração de água transpirável no substrato em que a transpiração relativa de cada cultivar de crisântemo começa a ser reduzida; (ii) determinar a fração de água transpirável no substrato em que o crescimento foliar relativo para cada cultivar de crisântemo começa a ser reduzido; (iii) verificar possíveis diferenças entre cultivares quanto à susceptibilidade à deficiência hídrica; (iv) verificar a influência da deficiência hídrica no substrato sobre variáveis de crescimento e de desenvolvimento de cultivares de crisântemo; (v) verificar possíveis diferenças de fração de água transpirável no substrato para a transpiração e para o crescimento foliar entre cultivares de vaso e de corte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterização do crisântemo e influência das condições ambientais sobre a cultura

O crisântemo, pertencente ao antigo gênero *Chrysanthemum*, foi reclassificado como *Dendranthema grandiflora* Tzvelev. (ANDERSON, 1987), fazendo parte da família Asteraceae, que teve sua origem nas regiões subtropicais da Ásia (PETRY, 2000), mais precisamente da China, onde seu cultivo é conhecido há mais de 2.000 anos. Em 1.789, foi introduzido na Europa e, daí distribuído, para os demais continentes (TEIXEIRA, 2004).

O crisântemo se caracteriza por ser uma planta herbácea perene, mas cultivada comercialmente como planta anual. O sistema radicular é fasciculado e as folhas são inseridas isoladamente, em diferentes níveis da haste. O caule é aéreo, herbáceo; a planta pode ter uma ou várias hastes (TOMBOLATO, 2004) e a inflorescência é do tipo capítulo. A lígula corresponde à pétala da flor feminina, o elemento decorativo, enquanto que as flores hermafroditas se encontram na zona central do capítulo (LAVILA, 1992).

O desenvolvimento das plantas, na cultura do crisântemo, é influenciado pelas condições ambientais, sendo que a radiação solar, fotoperíodo e a temperatura influem na indução floral e no ciclo da cultura (TAIZ; ZEIGER, 1991).

Segundo Kofranek (1992), os fatores que podem alterar o ciclo de uma cultivar são a variação da temperatura e da radiação solar, sendo que a baixa temperatura e a menor incidência de radiação solar, nas duas primeiras semanas de indução, podem prolongar o ciclo. Considerando-se a radiação solar, o tempo necessário, em dias curtos, para o florescimento diminui com o aumento da incidência da radiação, sendo que, para uma temperatura constante de 20 °C, o tempo necessário para o broto apical florescer decresce 29 dias, com o aumento da radiação (KARLSSON et al., 1989).

A indução à floração, conforme Taiz e Zeiger (1991), ocorre quando as plantas estão expostas a um fotoperíodo menor do que um valor crítico, que está entre 12 e 14 horas, sendo considerada uma planta de dia curto. Para fins de manejo, considera-se 13 horas como sendo o fotoperíodo crítico, portanto, quando o fotoperíodo ultrapassar esse valor, as plantas de crisântemo permanecerão em estágio vegetativo e, se for inferior, ocorrerá a indução floral (MELLO, 2003). Conforme Bellé (2000), levando-se em conta o fotoperíodo que ocorre na latitude de Santa Maria (RS), os dias curtos para as cultivares em uso devem ser impostos artificialmente no período compreendido de 20/09 a 20/03, sendo que a noite longa é imposta

através da cobertura das plantas com filme plástico preto a partir das 18 às 8 horas do dia seguinte, isto é, devem durar 14 horas, para que ocorra o processo de indução floral.

Seguindo-se o critério de Tolotti (2001), o ciclo da cultivar é medido a partir do dia de início da indução floral até o ponto de comercialização, quando aproximadamente 50 a 60% das inflorescências estiverem com 50 a 60% de abertura. Conforme Royal Van Zanten (2004), as cultivares de crisântemos de vaso são classificadas em: precoces – aquelas que florescem em um período, após a indução floral, de até 8 semanas; médias – aquelas que florescem em um período de 8 a 9 semanas e; tardias – aquelas que florescem em um período superior a 9 semanas. Referindo-se às cultivares de corte, conforme Teixeira (2004), em geral, o ciclo total está em torno de 12 a 15 semanas. No verão, quando a temperatura se eleva, o corte pode ser efetuado com menos de 12 semanas, enquanto no inverno, quando a temperatura diminui, pode ser efetuado com mais de 15 semanas.

Cathey (1954), citado por Larson (1997), afirma que as cultivares de crisântemos podem ser classificadas em três grupos em função da resposta às condições de temperatura: termopositivo, que necessita temperaturas noturnas mínimas superiores a 16 °C para florescer; termonegativo, que inclui cultivares que não florescem com temperatura noturna superior a 16°C; e termozero, que floresce normalmente em temperaturas noturnas entre 10 °C a 27 °C. Conforme Mello (2003), a maioria das cultivares em produção no Rio Grande do Sul encontra-se no último grupo.

Quando a temperatura mínima for 11 °C ou inferior, algumas cultivares podem florescer, desde que, durante o dia, ocorra uma temperatura igual ou superior a 16 °C. Embora a indução floral no crisântemo seja regulada pelo fotoperíodo, quanto à resposta à temperatura, há também uma resposta diferenciada entre os cultivares. Essa resposta à temperatura explica a ineficiência e a baixa qualidade de florescimento de determinadas cultivares mesmo sob controle fotoperiódico (ARBOS,1992).

Whealy et al. (1987), referindo-se às altas temperaturas, na faixa dos 27 °C aos 32 °C, afirmam que estas podem influenciar o crescimento de algumas cultivares, ocasionando retardo da indução, anomalias florais e desuniformidade na floração, dependendo da severidade dos danos, do tempo de exposição e da tolerância das cultivares a essas condições de temperatura.

Segundo Arbos (1992), o cultivo de crisântemos envasados deve ser realizado em local ensolarado, pois, com excesso de sombreamento, as inflorescências ficam pequenas e os ramos muito finos, diminuindo a qualidade das flores.

Miranda, Matsunaga e Okuyama (1994) enfatizam que a necessidade de estufa para a produção de crisântemo deve-se não só ao fato de possibilitar o controle e a uniformização do florescimento, mas também pela proteção às adversidades meteorológicas, como chuvas torrenciais, granizo e ventos fortes, além de tornar, concomitantemente, o controle fitossanitário mais eficaz em ambientes protegidos.

2.2 Deficiência hídrica

A água tem um papel fundamental na vida das plantas, sendo o componente mais abundante, representando entre 80 e 95% da massa de tecidos vegetais em crescimento. Além disso, somente em torno de 5 a 10% da água absorvida permanece nos tecidos da planta, e os 90 - 95% restantes são perdidos para a atmosfera via transpiração. Dessa forma, para cada grama de material orgânico produzido por uma planta, são absorvidos pelas raízes, transportados através da planta até as folhas e perdidos para a atmosfera, aproximadamente, 500 g de água. A água é o principal constituinte do tecido vegetal, sendo necessária como reagente no metabolismo, no transporte e na translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e no fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular (TAIZ; ZEIGER, 2004). Segundo Taiz e Zeiger (2009), uma pequena diminuição na disponibilidade de água pode reduzir o crescimento e o desenvolvimento.

A escassez de água no solo é o fator ambiental que mais limita o crescimento e o rendimento das culturas na maior parte do planeta (BOYER, 1982). Conforme Streck (2004), a redução do crescimento e as perdas de rendimento das culturas verificadas em áreas secas são, em grande parte, devido ao fechamento estomático em resposta ao baixo conteúdo de água no solo, diminuindo a entrada de CO₂, com consequente redução da fotossíntese. Segundo Bray (1997), as plantas respondem à deficiência hídrica conforme a intensidade do déficit hídrico, do genótipo, do estágio de desenvolvimento e do tipo de órgão e célula considerados, havendo uma resposta morfológica, fisiológica, celular e metabólica em diferentes níveis quando a disponibilidade de água no solo é reduzida.

A absorção e a perda de água nas células-guarda modificam o seu turgor e modulam a abertura e o fechamento estomático. Por estarem localizadas na epiderme foliar, as células-guarda perdem turgor como resultado de uma perda direta de água para a atmosfera, por evaporação. O decréscimo do turgor provoca o fechamento hidropassivo dos estômatos. O mecanismo de fechamento provavelmente é acionado com baixa umidade do ar, quando a perda direta de água das células-guarda é demasiado rápida para ser equilibrada pelo

movimento de água para dentro delas, a partir de células epidérmicas adjacentes (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Para Taiz e Zeiger (2004), um segundo mecanismo, o fechamento hidroativo, fecha os estômatos quando toda a folha ou as raízes são desidratadas, e tal mecanismo depende de processos metabólicos nas células-guarda. Uma redução no conteúdo de solutos das células-guarda resulta em perda de água e diminuição de turgor, provocando o fechamento estomático.

Conforme Moreno-Fonseca (2009) e Taiz e Zeiger (2009), existem estratégias de defesa por parte das plantas ao déficit hídrico, como a inibição da expansão foliar, a expansão do sistema radicular, o fechamento estomático, a aceleração da senescência e a abscisão das folhas.

A intensidade da expansão foliar é sensível ao déficit hídrico, resultante da inibição da expansão celular, que é decorrência da redução do turgor nas células, e da consequente contração das células e do aumento da concentração de solutos, sendo, assim, o primeiro mecanismo de defesa da planta. Uma planta com área foliar menor transpira menos, conseguindo conservar a água limitante no solo por um período mais longo, no entanto, afetando a produção fotossintética, ocorrendo, então, uma destinação ao sistema radicular de fotoassimilados e, com isso, provocando a expansão do sistema radicular, que é considerado o segundo mecanismo de defesa, aliada ao fato de que os ápices das raízes perdem a turgescência quando em contato com o solo seco das camadas superficiais do solo e uma proliferação de raízes profundas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Como terceiro mecanismo de defesa, ocorre o fechamento estomático em decorrência do estresse hídrico mesmo em presença de luz (TAIZ; ZEIGER, 2009). Conforme Davies, Wilkinson e Loveys (2002), provavelmente os sinais químicos das raízes (ácido abscísico – ABA) comandam as respostas estomáticas ao déficit hídrico no solo. Nas folhas, a biossíntese do ABA somente aumenta quando o potencial de água na folha diminui o suficiente para o turgor aproximar-se de zero. Isso pode indicar que o ABA importado da raiz, via xilema, seria necessário para desencadear o fechamento dos estômatos das plantas, sob condições de déficit hídrico no solo.

Segundo Angelocci (2002), o gradiente de pressão de vapor, resultante da diferença de concentração de vapor de ar entre a folha e a atmosfera, impulsiona o fluxo de vapor de água para a atmosfera. De acordo com Kiniry et al. (1998), um valor de déficit de pressão de vapor menor do que 15 hPa admite-se como baixo, e um valor maior do que 15 hPa admite-se como alto.

Lago et al. (2011) verificaram, em experimentos com a cultura da batata e da mandioca, que o valor de FATS crítica que começa a afetar a transpiração e o crescimento foliar difere entre espécies e dentro de cada espécie, em dias com baixa e com alta demanda evaporativa do ar.

Conforme Santos e Carlesso (1998), ocorrendo uma situação de déficit hídrico severo, a planta utiliza como defesa, para ajustar a sua área foliar, a aceleração da senescência e a abscisão foliar, que é o quarto mecanismo de defesa da planta. Para Taiz e Zeiger (2009), a abscisão foliar ocorre, principalmente, pelo aumento na síntese de etileno pela planta, sendo que, com a redução da área foliar, a área transpirável é reduzida, assim, ocorre economia de água no solo, importante para momentos de deficiência hídrica.

Entre os indicadores para representar o conteúdo de água no solo, é utilizado a quantidade total de água armazenada no solo (QTA). Segundo Carlesso e Zimmermann (2000), conceitua-se a QTA como a quantidade de água que um solo pode reter entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). Entretanto, esse indicador apresenta algumas limitações: as plantas apresentam uma diminuição no crescimento antes que seja atingido o ponto de murcha permanente; algumas espécies apresentam níveis variáveis de tolerância em relação à deficiência hídrica; a água disponível não é totalmente extraída se a densidade radicular apresentar um valor baixo, considerando-se que a determinação está baseada na profundidade do sistema radicular (CARLESSO, 1995). Conforme Souza e Reichardt (1996), as determinações do PMP e da CC em laboratório representam o potencial de água no solo numa condição padrão, e os dados determinados a campo não raramente diferem dos obtidos a campo.

O conceito de capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000) apresenta um avanço sobre o conceito anterior, pois é considerado, nesse caso, um sistema solo-cultura. A capacidade de armazenamento de água disponível é determinada pela diferença do conteúdo volumétrico de água, entre os limites superior (Capacidade de Campo) e inferior de disponibilidade de água às plantas (plantas senescentes), considerando-se, nesse caso, a cada camada do perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cultura (CARLESSO, 1995).

Segundo Carlesso (1995), dever-se-ia considerar a evaporação da água no solo, que, também, influencia na verificação da água disponível, não sendo somente extraível pela absorção de água pelas raízes. Outra desvantagem é que a água disponível depende da resposta da cultura ao estresse, pois a cultura apresenta, como defesa, a redução da área foliar e do fluxo estomático, diminuindo, assim, a extração de água.

A FAD é a relação entre o conteúdo de água volumétrico das camadas do solo explorado pelo sistema radicular em um determinado dia e a quantidade potencial de água no solo, dependendo da taxa de uso da água e das características do solo (RITCHIE et al., 1972 apud SANTOS; CARLESSO, 1998). A dificuldade, nesse caso, é que nem toda água disponível no solo é extraível pelas culturas (CARLESSO, 1995).

Santos e Carlesso (1998) consideram o conceito de que a FATS é o indicador que proporcionaria a quantidade real de água no solo, que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração. No conceito da FATS, segundo Sinclair e Ludlow (1986), têm-se que o conteúdo de água no solo, consumido para a transpiração, pela planta, está em um intervalo entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo quando a transpiração é potencial, e o conteúdo de água no solo, quando a transpiração da planta é igual a 10% da potencial.

Segundo Sinclair e Ludlow (1986), a FATS tem sido utilizada para determinar uma resposta consistente por parte das plantas à deficiência hídrica no período do secamento do solo. Na determinação da FATS, conforme pode ser observado na Figura 1, são considerados três estágios (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MUCHOW; SINCLAIR, 1991; BINDI et al., 2005): o estágio I, quando a água está disponível livremente no solo, e a planta não tem deficiência hídrica e sua condutância estomática e transpiração são potenciais, não limitando a condutância estomática e a transpiração; o estágio II, quando a água disponível no solo diminui e a planta diminui sua condutância estomática e transpiração para manter seu balanço hídrico e turgescência celular; e o estágio III, quando os estômatos fecham e a perda de água se dá somente devido à condutância epidérmica.

Figura 1 – Gráfico representativo, adaptado de Sinclair e Ludlow (1986), dos estágios de hidratação das plantas, associados ao conteúdo de água no solo

Alguns pesquisadores determinaram, para algumas espécies, a FATS crítica em que ocorre o início da redução da transpiração e do crescimento foliar, verificando-se diferenças nos valores de FATS crítica em função do genótipo, do déficit de pressão de vapor e do tipo de solo. Sinclair (1986) encontrou uma FATS crítica para o crescimento foliar próximo de 0,20 em soja; Muchow e Sinclair (1991) determinaram, para a mesma cultura, uma FATS crítica de 0,30 para transpiração e para crescimento foliar.

Lecoeur e Sinclair (1996) verificaram que a FATS crítica foi de 0,55 para transpiração e crescimento foliar em um experimento com a cultura da ervilha (*Pisum sativum* L.) em casa de vegetação, com controle ambiental (20 a 30 °C e 60% de UR).

Lago et al. (2011), em um experimento conduzido com duas cultivares de mandioca, verificaram que o valor de fração de água transpirável no solo (FATS) crítica média, que começa a afetar a transpiração, foi de 0,45 para “Fécula Branca” e 0,49 para “Fepagro RS 13”, e que a FATS crítica que começa a afetar o crescimento foliar foi de 0,51 para “Fécula Branca” e 0,49 para “Fepagro RS 13”. Os autores, também, encontraram uma resposta diferente em condições de atmosfera com baixa e com alta demanda evaporativa conforme a cultivar de mandioca utilizada, no que se refere à FATS crítica para transpiração e crescimento foliar.

Lago et al. (2012) observaram, em experimentos realizados em três épocas com clones de batatas, que a FATS crítica que começa a alterar a transpiração, indicativo do início do fechamento estomático, é mais elevada para o clone “sminia793101-3” do que para o “macaca”. O crescimento foliar começou a ser reduzido com valor de FATS crítica maior para o clone “macaca”, indicando que o clone “sminia793101-3” é mais tolerante ao déficit hídrico no solo que o clone “macaca”. Segundo Souza et al. (2014), a fração de água transpirável no solo (FATS) é um método eficiente para separar diferentes clones de batata nas suas respostas ao déficit hídrico. Os autores verificaram que os clones “Sminia 02.106-11” e “Sminia 00017-6” são mais tolerantes ao déficit hídrico do solo do que a cultivar Asterix em condições de radiação solar alta e baixa, e que o clone “Sminia 793101-3” é mais tolerante ao déficit hídrico do solo do que a cultivar Asterix sob alta radiação solar.

Heinemann e Stone (2009) caracterizaram a deficiência hídrica em cultivares de arroz de terras altas, por meio da fração transpirável da água do solo (FATS), utilizando a metodologia sugerida por Sinclair e Ludlow (1986), em que a FATS foi determinada fazendo-se uma relação entre a água armazenada (em mm) no solo, em um determinado dia, e o total de água armazenada no solo, entre a capacidade de campo e o ponto de murcha (em mm), considerando-se uma profundidade efetiva do sistema radicular.

Heinemann, Stone e Fageria (2011) conduziram dois experimentos em casa de vegetação em Santo Antônio de Goiás, GO, para avaliar a resposta da taxa de transpiração normatizada em relação à fração de água transpirável no solo, de três cultivares modernas e uma tradicional de arroz de terras altas ao déficit hídrico do solo, nas fases vegetativa e reprodutiva, visando apoiar estratégias de melhoramento para incrementar a produtividade do arroz. Nesse experimento, foi determinado, também, um *fator p*, definido como a fração de água disponível no solo, que pode ser retirada da zona radicular antes de ocorrer deficiência hídrica, assumindo-se que o *fator p* ocorre quando TR for igual a 0,95. Para os cultivares modernos, foram observados valores maiores do *fator p* na fase reprodutiva do que na vegetativa, sendo que essa informação pode direcionar o programa de melhoramento para incrementar a tolerância à deficiência hídrica nas cultivares modernas de arroz de terras altas.

Martins et al. (2008), em experimento conduzido em casa de vegetação, sem controle ambiental, nas condições de início e final de primavera, em Santa Maria (RS), com mudas de duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*), utilizando solo mineral, obtiveram FATS crítica para a transpiração de 0,90, para o *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden e 0,70, para o *Eucalyptus saligna* Smith, indicando que as respectivas espécies são muito sensíveis à redução da umidade no solo e apresentam como mecanismo de defesa o fechamento estomático mais precocemente, proporcionando como característica a essas espécies, maior tolerância a deficiência hídrica.

Fazendo uma análise entre solo mineral e artificial, Wahbi e Sinclair (2007) observaram que a resposta da transpiração de arábida, milho e soja sob deficiência hídrica em solos mineral (camada superficial de um solo arenoargiloso) e artificial (substrato comercial) pode ser diferente, pois verificaram diferenças nos índices de FATS crítica, com valores entre 0,27 e 0,34 no solo mineral e 0,60 a 0,70 no solo artificial.

Um modelo generalizado de resposta da transpiração e do crescimento pode ser observado na Figura 2, proposto por Weisz, Kaminski e Smilowitz (1994), que sugerem que as respostas da transpiração e do crescimento foliar ao déficit hídrico, quando avaliadas pela FATS, são semelhantes. Os valores de FATS crítica, em que a transpiração e a fotossíntese começam a ser reduzidas, ocorrem com maior frequência, entre 0,2 e 0,3. Assim, o crescimento foliar é mais sensível, com maior frequência dos valores críticos de FATS ocorrendo entre 0,3 e 0,5.

2.3 A cultura do crisântemo e a deficiência hídrica

Scatolini (1996) monitorou a tensão de água no solo para a cultura do crisântemo, encontrando tensões sempre baixas e atingindo valores um pouco maiores apenas na profundidade de 0,10 m, em curtos períodos. Os valores das tensões de água no solo, obtidos a 0,10 m de profundidade, variaram de 10,1 kPa a 58,7 kPa, com valor médio próximo a 20 kPa. Para a profundidade de 0,20 m, a tensão variou de 10 kPa a 47 kPa, com média próxima a 17,5 kPa, e, para a profundidade de 0,30 m, a tensão de água no solo variou de 14,9 kPa a 42,3 kPa, com média próxima a 25 kPa.

Rego et al. (2009) analisaram lâminas de irrigação aplicadas durante o ciclo da cultura de crisântemo para a cultivar Calábria (82 dias) e observaram um consumo de 192,2; 246,4; 300,9 e 355,4 mm para os tratamentos 50; 75; 100 e 125% da evaporação do tanque classe "A" (ECA), respectivamente, não encontrando diferenças significativas para a produtividade, no entanto, havendo uma eficiência de uso da água maior para os níveis de manejo correspondentes a 50 e 75% da ECA. Wrege (1995) citado por Rego et al. (2009) observou um consumo ao longo do ciclo de 296,4 mm de água, valor próximo da lâmina aplicada no trabalho de Rego et al. (2009), referente ao tratamento de 100% da ECA, em um ciclo de 90 dias para a cultura do crisântemo.

Furlan, Botrel e Paz (1998) verificaram que o consumo de água pelo crisântemo produzido em vasos, em estufa, pode ser estimado em função da área foliar e da evaporação do tanque reduzido ($\Phi = 20$ cm e $h = 25$ cm).

Farias e Saad (2003), estudando a qualidade comercial do crisântemo de vaso, cultivar Puritan, em ambiente protegido, irrigado sob diferentes tensões de água no substrato, verificaram que os resultados obtidos demonstraram que a cultivar Puritan obteve a maior porcentagem de vasos de alta qualidade comercial (A1) nos tratamentos irrigados, com as tensões de 2, 6 e 10 kPa, e, a menor porcentagem, com a tensão de 30 kPa, porém, em termos práticos, a tensão de 10 kPa, em relação aos níveis 2 e 6 kPa, foi indicada como o melhor tratamento, em função do menor número de irrigações. Já Farias et al. (2009), analisando qual a tensão de água no solo mais indicada para se obter a melhor qualidade e longevidade das hastes de crisântemo de corte, verificaram que a melhor qualidade e longevidade foi obtida com o emprego da giberelina (GA3) na concentração de 30 mg L⁻¹, independentemente da tensão usada.

Figura 2 – Modelo generalizado adaptado de Weisz, Kaminski e Smilowitz (1994), de respostas fisiológicas (transpiração e crescimento foliar) ao déficit hídrico, representado pela fração de água transpirável no solo. A coluna 1 expressa a resposta da transpiração de alfafa, milho, algodão, sorgo granífero e soja cultivados a campo, e feijão mungo, caupi, guandu e soja cultivados em casa de vegetação; a coluna 2, de sorgo granífero e algodão cultivados em casa de vegetação; a coluna 3 de sorgo granífero cultivado a campo; a coluna 4 expressa a resposta do crescimento foliar de soja cultivada em casa de vegetação; a coluna 5 de sorgo granífero cultivado em casa de vegetação e a coluna 6 de algodão cultivado em casa de vegetação e sorgo granífero cultivado a campo

Lieth e Burger (1989), utilizando tensiômetros no monitoramento do manejo da irrigação, demonstraram que quantidades excessivas de água são usadas na produção comercial de crisântemos em vaso, e que a mesma qualidade comercial pode ser obtida

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Setor de Floricultura do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, RS (latitude: 29°43'S, longitude: 53°43'W e altitude: 95m).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes e a temperatura média anual de 19,3 °C (KUINCHTNER; BURIOL, 2001).

3.1 Instalação dos experimentos

Dois experimentos com a cultura do crisântemo foram instalados em épocas distintas: o experimento 1 (EPOC1) – final da primavera de 2011 e o experimento 2 (EPOC2) no inverno de 2012, sendo que os períodos dos experimentos foram analisados separadamente, conforme Sinclair e Ludlow (1986), e Ray e Sinclair (1997).

Os experimentos foram realizados em uma casa de vegetação climatizada (Figura 3), possibilitando o controle de temperatura, variando de 15 a 29 °C.

Figura 3 - Vista geral da casa de vegetação (Fonte: Marcelo Antônio Rodrigues, 2011)

Para a realização dos experimentos, foram utilizadas quatro cultivares de crisântemos, sendo duas de vaso (Cherry White e Apple Valley) e duas de corte (Reppin Bronze e Calábria), produzidas comercialmente. A Figura 4 mostra as inflorescências formadas pelas cultivares.

Figura 4 – Vista das inflorescências das cultivares Cherry White, Apple Valley, Repin Bronze e Calábria. Fonte: Brasil Flor

Os experimentos EPOC1 e EPOC2 constituíram-se de dois tratamentos, com 10 repetições em cada tratamento, totalizando 20 repetições de cada cultivar. Cada repetição foi constituída por um vaso com uma planta, portanto, perfazendo 80 plantas por experimento. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo considerado como um bifatorial, tendo-se como um dos fatores as cultivares de crisântemo (FATOR A) e, como outro fator (FATOR B) os dois tratamentos: Tratamento 1 (T1), no qual as plantas cresceram e se desenvolveram sem deficiência hídrica (Testemunha) e Tratamento 2 (T2), foi imposta a deficiência hídrica.

No tratamento 1, realizava-se a reposição da água transpirada para a umidade permanecer na capacidade de campo e, no tratamento 2, não foi realizada a reposição da água transpirada pela planta durante toda a duração do experimento.

As estacas de crisântemos utilizadas nos trabalhos foram provenientes da empresa Dekker Chrysanten Brasil Agriflor. Lt, de Holambra (SP), especializada na produção de mudas de cultivares dessa cultura. As estacas foram tratadas com promotor de enraizamento, AIB (ácido indol butírico) a 0,2%, as quais foram colocadas em bandejas plásticas, preenchidas com casca de arroz carbonizada, que foram dispostas em uma bancada, em um local com luminosidade adequada, submetidas a um sistema de irrigação por nebulização, para proporcionar a umidade necessária no substrato e do ar (Figura 5).

Figura 5 – Vista do local de enraizamento de estacas de cultivares de crisântemo. Santa Maria, RS, 2011

Após o enraizamento das estacas, foi realizado o transplante destas vasos, o que ocorreu no dia 26 de novembro de 2011 no experimento 1 (EPOC1) e no dia 15 de junho de 2012 no experimento 2 (EPOC2).

Os vasos foram preenchidos com substrato de cultivo: 2 volumes de solo mineral retirado do horizonte B textural do solo classificado, conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006), como Argissolo Vermelho Distrófico Típico, 2 volumes de turfa, 1 volume de casca de arroz queimada, acrescido de 2 g de fertilizante solúvel PGMix[®] (14% N, 16% P₂O₅, 18% K₂O, 7% S, 0,03% B, 0,12% Cu, 0,16% Mo e 0,2% Mn) e 5 g de calcário dolomítico extrafino (PRNT 90%) para cada litro de substrato preparado. As correções da acidez e dos nutrientes foram realizadas conforme análise química do substrato (Anexo 1) e de acordo com as recomendações técnicas (SOCIEDADE BRASILEIRA DE

CIÊNCIA DO SOLO/COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – SBCS/CQFS, 2004).

Cada repetição foi constituída de uma planta cultivada em um vaso plástico de 2,8 litros, tamanho número 19. Os vasos foram dispostos sobre uma bancada metálica com 0,90 m de altura (Figura 6), em um local com luminosidade adequada, além da exposição ao dia longo (comprimento do dia superior a 14 horas), evitando-se a indução floral.

O dia longo foi obtido com o fornecimento de quatro horas de luz extra por meio de lâmpadas incandescentes de 100 watts sobre as plantas, a partir das 22 horas, de forma intermitente, permanecendo 15 minutos ligadas e 15 desligadas, até completar o ciclo de 4 horas de luz. A quantificação de lâmpadas utilizadas foi de acordo com a área ocupada pelos vasos, para se obter iluminância superior a 77 lux (KOFRANEK, 1992), evitando-se, assim, a formação de botão floral.

As paredes externas dos vasos foram pintadas de branco para reduzir a absorção de radiação solar, o que aumentaria a temperatura do substrato e poderia ser uma fonte de erro experimental.

Diariamente foi realizada a alteração nas posições dos vasos, com o objetivo de proporcionar condições ambientais similares para todas as plantas ao longo do experimento.

Figura 6 – Visão geral do experimento EPOC2, Santa Maria, RS, 2012

Para o controle preventivo das doenças causadas por fungos, principalmente as radiculares, foi aplicado, após o plantio das mudas, durante o período de enraizamento, fungicida à base de mancozeb + clorotalonil, conforme a recomendação do fabricante.

O controle de insetos foi realizado por intermédio do monitoramento da infestação das plantas, realizando-se o controle químico somente para pulgões, utilizando-se o inseticida Evidence.

3.2 Aplicação dos tratamentos e análise das variáveis

Verificou-se o desempenho das plantas submetidas ao estresse hídrico, avaliando-se a transpiração e o crescimento foliar relativo. Para isso, empregou-se a metodologia na qual se faz uso do conceito da fração de água transpirável no solo (FATS), havendo dois estágios de hidratação das plantas, conforme Sinclair e Ludlow (1986): estágio I: a água está disponível livremente no solo, sem deficiência hídrica para as plantas, a condutância estomática e a transpiração são potenciais; estágio II: a água disponível no solo reduz a condutância estomática, a transpiração decresce na planta para manter o balanço hídrico e a turgescência celular.

Iniciou-se a aplicação dos tratamentos nos experimentos com a cultura do crisântemo em 09/12/2011, no experimento EPOC1, quando as plantas se encontravam, respectivamente, com médias de 20, 12, 17 e 13 folhas acumuladas na haste principal das cultivares Cherry White, Repin Bronze, Apple Valley e Calábria e, em 07/07/2012, no experimento EPOC2, com médias de 19, 12, 15 e 18 folhas acumuladas na haste principal das cultivares Cherry White, Repin Bronze, Apple Valley e Calábria. Antes da aplicação dos tratamentos as plantas cresceram sem restrição hídrica.

Por ocasião do início dos experimentos, os vasos foram saturados e submetidos a uma drenagem por 30 minutos, atingindo, assim, a capacidade de campo. Os vasos foram cobertos com um filme plástico após a saturação para minimizar a perda de água pela evaporação do solo, procedimento que teve como objetivo a segurança de que a água retirada do solo tenha sido apenas pela transpiração das plantas. Em seguida, após os 30 minutos necessários para a drenagem, foi determinada a massa inicial de cada vaso, sendo, então, submetidos à deficiência hídrica os vasos referentes ao tratamento 2, os quais não foram mais irrigados até o final do experimento.

O tempo de drenagem de 30 minutos foi determinado previamente em observações, após a saturação do substrato em alguns vasos.

Um período de 24 horas após a saturação dos vasos foi considerado o início do experimento e encerrou-se quando as plantas do tratamento 2 atingiram uma transpiração relativa menor ou igual a 10% da transpiração potencial. Na Figura 7, pode-se observar o estado das plantas no final do experimento, submetidas à deficiência hídrica e sem deficiência hídrica.

Para se verificar uma possível evaporação que pudesse ocorrer através do filme plástico, durante o período de desenvolvimento dos experimentos, foram utilizados seis vasos preenchidos com o substrato, sem plantas e cobertos com filme plástico. Fez-se a reposição, em três vasos, da quantidade de água evaporada e, nos outros três, não se fez a reposição da água evaporada através do plástico. As respectivas médias foram descontadas da água transpirada no tratamento 1 e no tratamento 2.

Figura 7 – Vista das plantas com e sem déficit hídrico no dia do encerramento do Experimento (EPOC2), Santa Maria, RS, 2012

Caso ocorresse alguma drenagem nos vasos que constituíram o experimento, esta também era subtraída da transpiração diária ocorrida em cada repetição.

Os vasos foram pesados diariamente, às 17h, em uma balança eletrônica com capacidade de 8,1 kg e precisão de 0,1 g, sendo que, após a pesagem, obteve-se a quantidade de água transpirada pela planta desde o dia anterior. No tratamento 1, a quantidade de água transpirada foi determinada pela diferença entre a massa do vaso no dia da pesagem e a massa inicial do vaso, sendo, então, reposta a água transpirada. A perda diária de água pelas plantas do tratamento 2 foi determinada por meio da diferença entre a massa de cada vaso no dia e a massa do mesmo vaso no dia anterior.

A análise dos dados foi realizada para cada vaso, relacionando-se a transpiração relativa (TR) com a fração de água transpirável no substrato (FATS), cuja Transpiração Relativa (TR) foi determinada pela equação 1 (SINCLAIR; LUDLOW, 1986):

$$TR = \frac{\text{perda diária de água pelas plantas do T2 (cada vaso)}}{\text{média da perda diária de água das plantas do T1}} \quad (1)$$

A determinação da média da perda diária de água pelas plantas do tratamento 1, foi obtida da transpiração de 10 plantas de cada cultivar, que constituem o tratamento.

Determinou-se a FATS para cada vaso do tratamento 2, para cada dia, a partir do último para o primeiro dia de deficiência hídrica, sendo que a FATS foi determinada pela equação 2 (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

$$FATS = \frac{\text{massa de cada vaso em cada dia} - \text{massa final}}{\text{massa inicial de cada vaso} - \text{massa final}} \quad (2)$$

Foi considerada a massa final de cada vaso, a massa do vaso quando a transpiração relativa (TR) alcançou um nível de 10% ou menos em relação à transpiração potencial, admitindo-se que, abaixo dessa taxa de transpiração, os estômatos estão fechados e a perda de água ocorre apenas pela condutância epidérmica, caracterizando-se como o estágio III da transpiração (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

Foram obtidas em cada experimento, no início da imposição da deficiência hídrica e no último dia em que cada repetição atingiu o nível de transpiração estipulado, as medidas referentes às variáveis: altura das plantas (comprimento da haste do nível do substrato até o ponto de crescimento apical, com o auxílio de uma régua graduada); diâmetro do caule ao nível do substrato (utilizando-se um paquímetro analógico); número de folhas emitidas ou

acumuladas na haste principal, e, além disso, biomassa seca das raízes, da parte aérea e total inicial e final.

Outra variável medida foi a área foliar total (AF), em cm^2 , de cada planta, que foi determinada diariamente após o início da aplicação dos tratamentos e calculada pelo somatório da AF de todas as folhas individuais da planta.

No ajuste da equação para a estimativa da área foliar, conduziu-se um ensaio em branco (cinco vasos de cada cultivar), conforme pode ser observado na Figura 8. Foram coletadas 60 folhas de cada cultivar (20 pequenas, 20 médias e 20 grandes), nas quais foram medidos o comprimento (C) e a maior largura de cada folha, sendo, após, escaneadas e, com a aplicação do programa *QUANT*, determinadas a área foliar individual. No ajuste da equação para quantificar a área foliar, utilizou-se a sistemática do programa *CURVE TABLE*. Os melhores ajustes demonstraram ser o comprimento das folhas suficiente na determinação da área foliar, tendo em vista os altos valores dos coeficientes de determinação (r^2).

Figura 8 – Vista das cultivares de crisântemo em vasos, no ensaio em branco, utilizado para a determinação da área foliar. Santa Maria, RS, 2011

As equações ajustadas para a determinação da área foliar das cultivares foram:

$$\text{CherryWhite: } AF = 0,19X^{2,08} \quad (3)$$

$$\text{RepinBronze: } AF = 0,18X^{2,14} \quad (4)$$

$$\text{AppleValley: } AF = 0,33X^{1,96} \quad (5)$$

$$\text{Calábria: } AF = 0,26 X^{2,01} \quad (6)$$

As equações que apresentaram uma linha de tendência considerada uma potência foram as que melhor se ajustaram aos dados, apresentando coeficiente de determinação (r^2) de 0,971; 0,977; 0,967 e 0,935, respectivamente, para as equações 3, 4, 5 e 6, sendo X o comprimento da folha.

Foi determinada, através do somatório da AF de todas as folhas da planta, a AF total diária de cada planta para as quatro cultivares. Com base nos dados da AF total diária, foi calculado o crescimento foliar relativo (CFR) diário para cada cultivar pela equação:

$$\text{CFR} = \frac{\text{aumento de AF total pelas plantas do T2 (cada planta)}}{\text{aumento médio de AF total pelas plantas do T1}} \quad (7)$$

A diferença entre a AF total de cada planta no dia e a AF total da mesma planta no dia anterior possibilita a determinação diária do incremento de AF total pelas plantas do tratamento T1 e do tratamento T2 (LECOEUR; SINCLAIR, 1996).

A biomassa inicial foi obtida de três repetições de cada cultivar, as quais foram selecionadas, procurando-se a homogeneidade das plantas, para cada experimento, antes da aplicação do déficit hídrico, colocadas em estufa a 65 °C para a determinação da biomassa seca radicular, aérea e total.

Para a determinação dos componentes da biomassa seca final, à medida que foi sendo encerrado o experimento, a biomassa radicular e aérea de todas as repetições, foram colocadas, também, em estufa a 65 °C para determinação da biomassa seca radicular, aérea e total em todas as repetições.

Para a comparação da eficiência do uso da água pelas plantas, foi calculado o coeficiente de transpiração (CT), que indica a quantidade de água, em litros, necessária para a produção de 1 kg de biomassa ($\text{L H}_2\text{O kg}^{-1}$ de massa seca), com base na equação (SILVA et al., 2004):

$$\text{CT} = \frac{\text{total de água transpirada em cada tratamento}}{\text{biomassa seca final - biomassa seca inicial de cada tratamento}} \quad (8)$$

Ao ser finalizado cada experimento, utilizou-se o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para as comparações entre médias das variáveis medidas.

3.3 Normalização e ajustes dos dados referentes à Transpiração Relativa e ao Crescimento Foliar Relativo

Foram realizadas duas normalizações dos dados, conforme Sinclair e Ludlow (1986) e Lecoeur e Sinclair (1996), para as variáveis TR e CFR. A primeira normalização, referente à Transpiração Relativa e ao Crescimento Foliar Relativo, foi feita com o objetivo dos dados ficarem entre os valores de 0 a 1 (Equações 1 e 7). A segunda normalização foi feita com o objetivo de reduzir as variações entre plantas. Para realizar essa segunda normalização, procurou-se determinar uma FATS acima da qual os valores de transpiração relativa e crescimento foliar relativo apresentaram uma variabilidade maior em todas as plantas, cujo valor, nesses experimentos, foi de uma FATS de 0,60. Então, foi calculada, para cada repetição, a média dos valores de TR e CFR, com FATS igual ou maior que 0,60, e todas as determinações iniciais de TR e CFR foram divididas por essas médias. A segunda normalização é representada pelas equações 9 e 10:

$$TR2 = \frac{TR1}{TR1 \text{ média dos dias com FATS acima de } 0,60} \quad (9)$$

$$CFR2 = \frac{CFR}{CFR1 \text{ média dos dias com FATS acima de } 0,60} \quad (10)$$

Foi ajustada uma equação logística (11) para os valores referentes à Transpiração Relativa e ao Crescimento Foliar Relativo, que foram normalizados pela segunda vez, sendo então, plotados em função da FATS (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; LECOEUR; SINCLAIR, 1996):

$$Y = 1 / \{ 1 + \exp[a(X-b)] \} \quad (11)$$

Na equação 11, Y é a variável dependente, no caso, TR ou CFR; X é a FATS; e *a* e *b* são coeficientes empíricos, que foram determinados por meio de uma regressão não linear no SAS (*Statistical Analysis System*).

A FATS crítica (FATSc), cujo valor indica o início do fechamento estomático quando relacionado à TR, e indica o início da redução do crescimento foliar quando relacionado com

a CFR, foi determinada para uma TR ou um CFR de 0,95 (LAGO et al., 2011, 2012), para cada repetição. A FATS crítica foi determinada pela equação (12) (PINHEIRO, 2013):

$$\text{FATSc} = b - \ln(0,0526) / a \quad (12)$$

Na equação 12, a e b são os coeficientes empíricos, determinados pela regressão não linear no SAS (*Statistical Analysis System*) estimados para a equação 11.

3.4 Elementos meteorológicos medidos

Os dados referentes às temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido (psicrômetro) foram medidos diariamente às 15 horas. As temperaturas mínima e máxima diárias do ar foram medidas, durante os experimentos, com um termômetro de mínima de álcool e um termômetro de máxima de mercúrio, respectivamente. Os instrumentos para as medições dos elementos meteorológicos foram instalados em um miniabrigo meteorológico de madeira, pintado de branco e posicionado no centro da bancada (Figura 9). Com base nos dados do psicrômetro, calculou-se a umidade relativa do ar e o déficit de pressão de vapor do ar (DPV) próximo ao DPV máximo diário. A densidade de fluxo de radiação solar global diária incidente foi determinada com base no brilho solar diário, admitindo-se uma transmissividade da cobertura plástica de 80% (BURIOL et al., 1995). Para o cálculo da radiação solar global diária incidente sobre as plantas, os dados foram obtidos em uma estação meteorológica convencional, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia, localizada a aproximadamente 0,5 km da casa de vegetação.

Figura 9 - Miniabrigo meteorológico utilizado nos experimentos EPOC1 e EPOC2, Santa Maria, RS, 2011

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentadas as datas da implantação das estacas, do transplante das estacas enraizadas, do início e fim da aplicação dos tratamentos, bem como a duração do experimento, para as duas épocas experimentais e para as respectivas cultivares. Verifica-se que a duração em dias, do experimento EPOC1, foi menor do que o experimento EPOC2.

Tabela 1 - Data de implantação e transplante, bem como do início e do fim dos dois experimentos com a cultura do crisântemo (EPOC1 e EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012

Experimento	Cultivares	Datas				Número de dias do experimento
		Implantação das estacas	Transplante	Início	Fim	
EPOC1	Cherry White	08/11/2011	26/11/2011	09/12/2011	08/01/2012	31
	Repin Bronze		26/11/2011	09/12/2011	28/12/2012	20
	Apple Valley		26/11/2011	09/12/2011	21/12/2012	13
	Calábria		26/11/2011	09/12/2011	27/12/2012	19
EPOC2	Cherry White	20/05/2012	15/06/2012	07/07/2012	15/08/2012	40
	Repin Bronze		15/06/2012	07/07/2012	08/08/2012	33
	Apple Valley		15/06/2012	07/07/2012	06/08/2012	31
	Calábria		15/06/2012	07/07/2012	31/07/2012	25

Início: dia do início da imposição do déficit hídrico; fim: quando a transpiração de cada planta com déficit hídrico atingiu 10% da transpiração daquelas sem déficit hídrico

Na Figura 10(a), pode-se observar o gráfico referente às temperaturas máximas e mínimas obtidas no interior da casa de vegetação nos dois experimentos realizados. As médias das temperaturas máximas e mínimas no experimento EPOC1 foram, respectivamente, de 32,2 °C e 19,1 °C e, no experimento EPOC2, de 26,9 °C e 14,7 °C, ocorrendo uma diferença entre a média das temperaturas máximas e mínimas um pouco maior no experimento EPOC1 do que no experimento EPOC2, respectivamente, de 13,1 °C e 12,2 °C. Esse resultado indica que a casa de vegetação permitiu razoável controle das condições ambientais durante o período dos dois experimentos, embora ocorressem momentos em que o sistema de arrefecimento não funcionou adequadamente.

A densidade de fluxo de radiação solar global diária incidente (Figura 10b), estimada no interior da casa de vegetação, foi maior no período correspondente ao experimento EPOC1

e menor no período correspondente ao experimento EPOC2, tendo-se verificado uma média de 17,01 e 7,90 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente.

Figura 10 – Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax) diárias do ar (a) e densidade de fluxo de radiação solar global diária incidente estimada (b) no interior da casa de vegetação durante os experimentos com a cultura do crisântemo (EPOC1 e EPOC 2), Santa Maria, RS, 2011-2012

Na Figura 11(a), observa-se a variação da umidade relativa do ar (UR%) na casa de vegetação, nas duas épocas experimentais, apresentado um valor médio de 70,72% no experimento EPOC1 e de 75,02% no EPOC2.

O déficit de pressão de vapor (DPV) (Figura 11b) variou entre 2,54 a 21,61 hPa no experimento EPOC1, com uma média de 11,68 hPa, levemente superior ao observado no experimento EPOC2, cujo DPV variou de 1,68 a 22,83 hPa, com uma média de 8,77 hPa, às 15 horas.

A média dos valores de DPV verificada no experimento EPOC1 é superior a média dos valores de DPV verificada no experimento EPOC2, porém, ambas são consideradas baixas por Kiniry et al. (1998). Porém, no experimento EPOC1 vários dias apresentaram valores de DPV acima de 15 hPa, valor considerado divisor entre baixa demanda evaporativa e alta demanda evaporativa conforme Kiniry et al. (1998), o que não ocorreu no experimento EPOC2, no qual apenas em um dia a demanda evaporativa foi acima de 15 hPa. Considerando, então, as médias observadas, as plantas cresceram e se desenvolveram em uma atmosfera de menor demanda evaporativa durante o experimento EPOC2, quando comparado com o experimento EPOC1, havendo uma coerência com as condições meteorológicas ocorridas na casa de vegetação em cada época experimental.

As diferenças de demanda evaporativa observadas nos dois períodos experimentais, proporcionaram diferenças nos tempos de duração dos experimentos (Tabela 1), corroborando com os estudos de Kofranek (1992) e Karlsson et al. (1989), que afirmam que a menor temperatura e a menor incidência de radiação solar podem influenciar no aumento da duração do ciclo, o que ocorreu no experimento EPOC2.

Na Tabela 2, é apresentado o número de repetições para cada cultivar após a finalização dos experimentos, verificando-se que a cultivar Apple Valley no experimento EPOC2 finalizou com 7 repetições no Tratamento 1, pois algumas plantas foram retiradas, uma vez que ocorreu indução floral.

Figura 11 - Umidade relativa do ar (a) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário (b) no interior da casa de vegetação durante os dois experimentos com a cultura do crisântemo (EPOC1 e EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012

Tabela 2 - Número de repetições utilizadas na análise dos dados de cada cultivar e tratamento nos dois experimentos com a cultura do crisântemo (EPOC1 e EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012

Experimento	Cultivares	Número de repetições por tratamento	
		T1	T2
EPOC1	Cherry White	10	10
EPOC2	Cherry White	10	10
EPOC1	Repin Bronze	10	10
EPOC2	Repin Bronze	10	10
EPOC1	Apple Valley	10	10
EPOC2	Apple Valley	7	10
EPOC1	Calábria	10	10
EPOC2	Calábria	10	10

Na Tabela 3 podem ser verificados os dados relativos à altura média inicial e final das plantas e o diâmetro médio da base inicial e final. Nos itens relativos à altura média inicial e ao diâmetro médio da base inicial, verifica-se que não existiram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos nos dois experimentos realizados (EPOC1 e EPOC2). Esse resultado era o esperado, uma vez que, procurou-se fazer da forma mais homogênea possível a seleção inicial das plantas. O que se observa nas variáveis analisadas é a existência de diferenças significativas entre as cultivares devido às características genéticas.

Nas Figuras 12, 13, 14 e 15, são apresentados os gráficos com as equações ajustadas para a estimativa das áreas foliares, com base no comprimento das folhas, para as cultivares avaliadas nos experimentos EPOC1 e EPOC2, cujas equações apresentaram valores de coeficiente de determinação alto, sendo então, consideradas estatisticamente recomendáveis para a estimativa da área foliar das plantas.

Tabela 3 - Altura média inicial e final, diâmetro da base inicial e final das cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Repin Bronze (RB), Apple Valley (AV) e Calábria (CA) submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOC1) e 07/07/2012 (EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012

Cultivar	ÉPOCA 1			ÉPOCA 2		
	Tratamento		Média	Tratamento		Média
	T1	T2		T1	T2	
Altura média inicial (cm)						
CW	10,2	10,0	10,1 C	10,3	10,2	10,2 C
RB	12,5	11,0	12,7 B	14,2	13,9	14,0 B
AV	13,0	12,5	12,7 B	11,3	10,9	11,1 C
CA	18,6	18,6	18,6 A	22,0	24,0	23,0 A
Média	13,7 a	13,4 a		14,7 a	14,8 a	
CV (%)			6,9			10,8
Altura média final (cm)						
CW	24,2 aD	14,9 bD	19,6	34,9 aC	20,4 bD	27,7
RB	45,6 aB	29,3 bB	37,5	67,1 aA	40,7 bB	53,9
AV	27,2 aC	20,1 bC	23,7	42,8 aB	23,6 bC	33,2
CA	57,2 aA	36,8 bA	47	68,4 aA	48,4 bA	58,4
Média	38,6	25,3		53,3	33,3	
CV (%)			6,0			6,3
Diâmetro médio da base inicial (cm)						
CW	0,3	0,3	0,3 B	0,4	0,4	0,4 A
RB	0,4	0,3	0,35 B	0,3	0,3	0,3 B
AV	0,5	0,5	0,5 A	0,37	0,37	0,37 B
CA	0,5	0,4	0,45 A	0,4	0,4	0,4 A
Média	0,4 a	0,4 a		0,4 a	0,4 a	
CV (%)			12,5			12,8
Diâmetro médio da base final (cm)						
CW	0,9 aA	0,55 bBC	0,7	0,9 aA	0,6 bA	0,7
RB	0,7 aC	0,5 bC	0,6	0,7 aB	0,5 bB	0,6
AV	0,8 aAB	0,6 bA	0,7	1,0 aA	0,5 bB	0,7
CA	0,8 aB	0,55 bB	0,7	0,8 aB	0,5 bB	0,6
Média	0,8	0,6		0,8	0,5	
CV (%)			8,7			7,2

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação

Figura 12 - Equação da área foliar ajustada para a cultivar Cherry White – comprimento da folha (C) em cm e área foliar (AF) em cm²

Figura 13 - Equação da área foliar para a cultivar Repin Bronze – comprimento da folha (C) em cm e área foliar (AF) em cm²

Figura 14 – Equação da área foliar ajustada para a cultivar Apple Valley – comprimento da folha (C) em cm e área foliar (AF) em cm²

Figura 15 - Equação da área foliar ajustada para a cultivar Calábria – comprimento da folha (C) em cm e área foliar (AF) em cm²

Na Tabela 04 pode ser observado o número médio de folhas inicial e final e área foliar média inicial e final, verificando-se que no número de folhas inicial e na área foliar inicial não ocorreram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, também em função da seleção homogênea das plantas, porém, ocorrendo entre cultivares, devido a variabilidade genética.

Com relação à altura média final, ao diâmetro médio da base final, ao número médio de folhas final e a área foliar média final, ocorreram interações e diferenças significativas entre os tratamentos, resultantes da aplicação da imposição da deficiência hídrica e da resposta das cultivares ao tratamento (Tabelas 3 e 4).

Quanto ao número de folhas, verifica-se que as cultivares com maior área foliar apresentaram menor número de folhas na finalização do experimento. Porém, a dimensão das folhas representada pelo comprimento foliar, foi maior, compensando a área foliar em relação às cultivares com menor área foliar, que apresentaram um maior número de folhas. Pode-se observar essa situação comparando-se a cultivar Calábria com a cultivar Cherry White (Tabela 4).

As variáveis, biomassa seca inicial das raízes, da parte aérea e da biomassa total (Tabela 5), também não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos nas quatro cultivares e nos dois experimentos, demonstrando um resultado coerente, decorrente da seleção de plantas homogêneas no momento do transplante para os vasos.

Na Tabela 5, verifica-se que nas variáveis relativas à biomassa seca final da parte aérea e total, ocorreram interações e diferenças significativas entre os tratamentos nas diferentes cultivares, resultado da influência da deficiência hídrica na redução da biomassa. Esse resultado pode ser relacionado com a variável área foliar média final (Tabela 4), na qual também houve interação e diferença significativa entre os tratamentos. A menor área foliar no T2 é decorrente da redução da transpiração e, conseqüentemente da produção fotossintética menor, o que produziu uma massa seca da parte aérea menor, concordando com Taiz e Zeiger (2009).

Não houve interação entre os tratamentos para a variável massa seca final das raízes (Tabela 5), porém, nas médias dos tratamentos ocorreu diferença significativa nos dois experimentos (EPOC1 e EPOC2), influencia da deficiência hídrica.

Tabela 4 - Número médio de folhas inicial e final, área foliar média inicial e final das cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Repin Bronze (RB), Apple Valley (AV) e Calábria (CA) submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOC1) e 07/07/2012 (EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012

	ÉPOCA 1			ÉPOCA 2		
Cultivar	Tratamento		Média	Tratamento		Média
	T1	T2		T1	T2	
Número médio de folhas inicial						
CW	19,7	19,7	19,7 A	18,4	18,6	18,5 A
RB	12,2	11,6	11,9 C	12,1	11,2	11,6 C
AV	17,0	16,8	16,9 B	16,0	14,6	15,2 B
CA	12,9	13,1	13,0 C	18,0	17,8	17,9 A
Média	15,3 a	15,3 a		16,1 a	15,6 a	
CV (%)	10,7			10,5		
Número médio de folhas final						
CW	44,9 aA	33,1 bA	39,0	51,7 aA	39,4 bA	45,6
RB	27,7 aC	21,2 bC	24,4	34,0 aBC	24,8 bC	29,4
AV	28,2 aC	26,1 bB	27,1	37,0 aB	24,5 bC	30,7
CA	31,4 aB	22,4 bC	26,9	33,7 aC	27,7 bB	30,7
Média	33,1	25,7		39,1	29,1	
CV (%)	7,1			6,5		
Área foliar média inicial (cm²)						
CW	64,5	71,8	68,4 C	99,2	95,9	97,5 C
RB	91,1	74,9	83,0 C	115,5	105,1	110,3 C
AV	265,1	248,0	256,5 A	200,3	180,5	188,6 B
CA	177,7	180,1	178,9 B	305,3	289,3	297,3 A
Média	151,8 a	143,7 a		178,4 a	167,7 a	
CV (%)	21,2			22,9		
Área foliar média final (cm²)						
CW	385,5 aC	157,2 bC	271,3	768,2 aC	351,0 bD	559,6
RB	783,2 aB	264,1 bC	523,6	1035,0 aB	410,6 bC	722,8
AV	917,8 aA	489,6 bB	703,7	1401,2 aA	512,6 bB	956,9
CA	1044,8 aA	983,0 a A	1013,9	1171,2 aAB	593,1 bA	1764,3
Média	782,8	473,5		1093,9	466,8	
CV (%)	13,1			19,3		

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação

Tabela 5 - Biomassa seca radicular, aérea e total no início e no final do período de imposição do déficit hídrico para as cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Repin Bronze (RB), Apple Valley (AV) e Calábria (CA) submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação em dois experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOC1) e 07/07/2012 (EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012

Cultivar	EPOC 1		Média	EPOC 2		Média
	Tratamento			Tratamento		
	T1	T2		T1	T2	
Biomassa seca radicular inicial (g)						
CW			0,1 C			0,1 A
RB			0,1 C			0,1 A
AV			0,3 A			0,1 A
CA			0,2 B			0,1 A
Média						
CV (%)			9,8			25,01
Biomassa seca radicular final (g)						
CW	1,2	0,9	1.0 B	1,3	1,0	1,2 B
RB	1,0	0,6	0.8 C	1,3	0,9	1,1 B
AV	1,6	1,1	1.3 A	2,1	1,5	1,7 A
CA	1,0	0,7	0.8 C	1,1	0,9	1,0 B
Média	1.2 a	0.8 b		1,4 a	1,1 b	
CV (%)			21,6			18,1
Biomassa seca aérea inicial (g)						
CW			0,7 B			0,5 C
RB			0,9 B			0,7 BC
AV			1,7 A			0,8 B
CA			1,6 A			1,4 A
Média						
CV (%)			10,4			12,4
Biomassa seca aérea final (g)						
CW	6,9 aB	3 ,0 bD	5,0	9,1 aB	4,4 bD	6,7
RB	7,7 aB	3,6 bC	5,6	12,0 aA	5,7 bB	8,8
AV	6,8 aB	4,0 bB	5,4	11,4 aA	4,8 bC	8,1
CA	11,0 aA	5,0 bA	8,0	10,7 aAB	6,4 bA	8,6
Média	8,1	3,9		10,8	5,3	
CV (%)			10,8			1,5
Biomassa seca total inicial (g)						
CW			0,9 B			0,6 C
RB			1,0 B			0,8 BC
AV			2,0 A			0,9 B
CA			1,9 A			1,5 A
Média						
CV (%)			9,5			10,4
Biomassa seca total final (g)						
CW	8,2 aB	4,0 bC	6,1	10,4 aB	5,4 bC	7,9
RB	8,7 aB	4,2 bC	6,4	13,3 aA	6,7 bB	10,0
AV	8,4 aB	5,2 bB	6,8	13,6 aA	6,3 bB	9,9
CA	12,1 aA	5,7 bA	8,9	11,8 aAB	7,3 bA	9,5
Média	9,3	4,8		12,3	6,4	
CV (%)			12,6			8,6

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação

Para as variáveis, transpiração total média, consumo médio diário de água por planta e coeficiente de transpiração (CT), conforme pode ser verificado na Tabela 6, de uma maneira geral, houve interação nas duas épocas experimentais e diferenças significativas entre os regimes hídricos (T1 = sem deficiência e T2 = com deficiência) para as quatro cultivares dos experimentos, consequência da imposição da deficiência hídrica, com exceção do item relacionado à variável CT, no qual não houve diferença significativa entre as cultivares no tratamento T2 no experimento EPOC1 e nem diferença significativa entre os tratamentos, com exceção da cultivar Apple Valley. O mesmo comportamento não se repetiu no experimento EPOC2.

No experimento EPOC1, quanto aos valores de transpiração total por planta nos tratamentos T1 e T2 (Tabela 6), a cultivar Calábria diferiu estatisticamente das outras três cultivares, podendo-se observar o mesmo no T1 na massa seca total obtida (Tabela 5), havendo, então, uma relação entre as variáveis transpiração total e produção de biomassa. No experimento EPOC2, no que se refere ao tratamento T1, as cultivares não diferiram entre si na transpiração total, porém, no tratamento T2 se observa que a cultivar Calábria diferiu das outras três cultivares, também coerente com a massa seca total obtida (Tabela 5).

Comparando-se as médias do tratamento T1 no experimento EPOC1, a Transpiração Total foi maior nesse período experimental, com exceção da cultivar Cherry White, consequência de valores de temperaturas máximas e mínimas, radiação solar global incidente e DPV maiores, durante o período do experimento EPOC1 em relação ao período EPOC2.

O consumo médio diário de água por planta (Tabela 6) foi maior no primeiro experimento EPOC1, do que no experimento EPOC2, atingindo em um menor número de dias a taxa de 10% da transpiração potencial, também, consequência de maiores valores de temperaturas médias máximas e mínimas, de radiação solar global incidente e de DPV (Figuras 10 e 11 e Tabela 1). Essas condições resultaram em uma maior demanda evaporativa do ar e, com isso, maior extração diária de água pelas plantas no experimento EPOC1, embora tenham apresentado uma área foliar final menor no tratamento T2, do que no experimento EPOC2 (Tabela 6).

A maior produção fotossintética ocorrida pode explicar os maiores valores de biomassa seca (Tabela 5) e de área foliar final (Tabela 4) obtidos no experimento EPOC2 e, consequentemente, os menores valores de CT (Tabela 6). O maior valor de CT obtido no experimento EPOC1 é resultado da maior transpiração (Tabela 6) e da biomassa seca menor (Tabela 5).

Tabela 6 - Transpiração total média, consumo médio diário de água, coeficiente de transpiração das cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Repin Bronze (RB), Apple Valley (AV) e Calábria (CA) submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOC1) e 07/07/2012 (EPOC2), Santa Maria, RS, 2011-2012

Cultivar	EPOC1			EPOC2		
	Tratamento		Média	Tratamento		Média
	T1	T2		T1	T2	
Transpiração (g planta ⁻¹)						
CW	1502,3 aB	647,4 bB	1074,9	1619,7 aA	670 bB	1144,9
RB	1602,7 aB	628,9 bB	1115,8	1594 aA	656,7 bB	1125,4
AV	1672,6 aB	675,2 bB	1173,9	1656,5 aA	660,7 bB	1158,6
CA	2108 aA	789,2 bA	1448,6	1405,9 aA	727,4 bA	1111,7
Média	1721,4	685,2		1591,5	678,7	
CV (%)	12,1	7,8		13,1	4,8	
Consumo (g H ₂ O planta ⁻¹ dia ⁻¹)						
CW	48,4 aD	24,3 bB	36,4	40,5 aB	17,9 bC	29,2
RB	84,3 aC	24,3 bB	54,3	48,3 aAB	22,3 bB	35,3
AV	128,6 aA	55,7 bA	92,2	53,8 aA	22,3 bB	38
CA	111 aB	55,4 bA	83,2	56,2 aA	30,7 bA	43,5
Média	93,1	39,9		99,4	23,3	
CV (%)	11,4	15,1		14,0	8,1	
Coeficiente de transpiração (L H ₂ O kg ⁻¹ massa seca)						
CW	202,3 aB	209,4 aA	205,9	165,6 aA	138,8 bA	152,2
RB	210,1 aB	200,3 aA	205,2	127 aB	111,3 bC	119,2
AV	265,1 aA	219,5 bA	242,3	131,4 aB	124,1 aB	127,8
CA	208 aB	206,6 aA	207,3	136,3 aB	126,1 bB	131,2
Média	221,4	209		140,1	125,1	
CV (%)	5,8	11,1		5,3	6,5	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação

Na Tabela 7 são apresentadas as médias de FATS crítica para TR e CFR obtidas nas duas épocas experimentais para as cultivares estudadas, verificando-se que, na FATS crítica para TR, não ocorreu interação entre cultivares e épocas de realização do experimento, nem diferença significativa entre as médias relativas às épocas experimentais. Esse resultado demonstra uma resposta homogênea das cultivares a deficiência hídrica, no experimento EPOC1 e no experimento EPOC2. Isso indica que o fechamento estomático das cultivares, nos dois experimentos, ocorreu de maneira semelhante, não havendo influências significativas da variação das condições meteorológicas ocorridas na época de realização dos experimentos sobre a FATS crítica, quando relacionada com a transpiração relativa. Constata-se que

ocorreram apenas diferenças significativas entre as médias para as cultivares referentes às duas épocas experimentais, deduzindo-se que essas diferenças são decorrentes da variabilidade genética existente entre elas.

A FATS crítica para a transpiração também é apresentada na Figura 16. Observa-se que o fechamento estomático começa a ocorrer com uma FATS crítica média de 0,62 no experimento EPOC1 e de 0,65 no EPOC2 para a cultivar Cherry White; de 0,60 nos experimentos EPOC1 e EPOC2 para a cultivar Repin Bronze; de 0,56 no experimento EPOC1 e 0,51 no EPOC2 para a cultivar Apple Valley; e de 0,48 no experimento EPOC1 e 0,54 no EPOC2 para a cultivar Calábria.

As cultivares Cherry White e Repin Bronze (Tabela 7 e Figura 16) apresentaram uma FATS crítica maior para TR em relação às cultivares Apple Valley e Calábria, demonstrando ser tais cultivares mais sensíveis quanto ao fechamento estomático, apresentando um mecanismo de controle estomático mais eficiente, conservando água no solo por mais tempo, o que pode ter prolongado o número de dias para as plantas atingirem 10% da transpiração potencial nas duas épocas experimentais.

Tabela 7 - Fração de água transpirável no substrato em que inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para a transpiração relativa (TR) e para o crescimento foliar relativo (CFR) das cultivares de crisântemo Cherry White (CW), Apple Valley (AP), Repin Bronze (RB) e Calábria (CA), submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação em dois experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOCA1) e 07/07/2012 (EPOCA2), Santa Maria, RS, 2011-2012

Cultivar	FATS crítica para a TR		
	EPOC1	EPOC2	MÉDIA
CW	0,62	0,65	0,63 A
RB	0,60	0,60	0,60 AB
AV	0,56	0,51	0,53 BC
CA	0,48	0,54	0,51 C
Média	0,57 a	0,57 a	
CV (%)			17,7
Cultivar	FATS crítica para a CFR		
	EPOC1	EPOC2	MÉDIA
CW	0,66	0,71	0,67 A
RB	0,68	0,71	0,69 A
AV	0,56	0,62	0,59 AB
CA	0,48	0,60	0,54 B
Média	0,60 a	0,65 a	
CV (%)			20,8

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação

Figura 16 – Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no substrato (FATS) para as cultivares de crisântemo Cherry White, Repin Bronze, Apple Valley e Calábria, cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico respectivamente em 09/12/2011 – EPOC1 (a, c, e, g) e 07/07/2012 – EPOC2 (b, d, f, h), Santa Maria, RS, 2011-2012. FATS crítica: fração de água transpirável no substrato, quando inicia a redução da transpiração das plantas devido ao início do fechamento estomático

Os valores de FATS crítica para TR se aproximam aos encontrados em substrato comercial por Wahbi e Sinclair (2007), nas culturas de arobodipsis, soja e milho. Os resultados são, também, bastante semelhantes aos encontrados por Lecoeur e Sinclair (1996), com a cultura da ervilha (*Pisum sativum* L.) em casa de vegetação com controle de temperatura (20 a 30°C), e acima dos valores adaptados por Weisz, Kaminski e Smilowitz (1994), os quais podem ser observados na Figura 2, em soja, milho e algodão cultivados a campo e em casa de vegetação. Quando comparados com os trabalhos de Martins et al. (2008), os valores de FATS crítica em mudas de eucalipto ultrapassam os valores encontrados para as cultivares de crisântemo em estudo.

Pode-se deduzir, assim, que o crisântemo possui um mecanismo de controle estomático mais eficiente que a maioria das outras culturas agrícolas, quando avaliadas em solo mineral. Porém, se produzidas em substrato, o controle estomático pode ser semelhante, como ocorreu quando a cultura do milho foi produzida em substrato, conforme constatado por Wahbi e Sinclair (2007).

Na Tabela 7, também se verifica que na FATS crítica para CFR não ocorreu interação entre cultivares e épocas de realização do experimento, nem diferença significativa entre as médias relativas às épocas experimentais, tendo-se uma resposta homogênea das cultivares no experimento EPOC1 e no experimento EPOC2. Esse resultado indica que a redução do crescimento foliar das cultivares, nos dois experimentos, ocorreu de maneira similar, não havendo influências significativas da variação dos elementos climatológicos ocorridos na época de realização dos experimentos sobre a FATS crítica, quando relacionada ao crescimento foliar.

Na Figura 17 é apresentada a FATS crítica para o crescimento foliar. Verifica-se que a FATS crítica, em que começa a ocorrer redução no crescimento foliar, nas duas épocas experimentais (EPOC1 e EPOC2) é de, respectivamente, 0,66 e 0,71 para a cultivar Cherry White; 0,68 e 0,71 para a cultivar Repin Bronze; 0,56 e 0,62 para a cultivar Apple Valley; e 0,48 e 0,60 para a cultivar Calábria.

Ocorreram diferenças significativas entre as médias das FATS críticas para o crescimento foliar das cultivares (Tabela 7), as quais são decorrentes da variabilidade entre as cultivares. Pode-se observar uma relação dessas diferenças com a área foliar (Tabela 4), em que as cultivares Cherry White e Repin Bronze, com menor área foliar média final, apresentaram valores maiores de FATS crítica em relação às cultivares Apple Valley e Calábria, com maior área foliar média final, que apresentaram menor FATS crítica para o CFR.

Figura 17 – Crescimento Foliar Relativo normalizado (CFR) em função da fração de água transpirável no substrato (FATS) para as cultivares de crisântemo Cherry White, Repin Bronze, Apple Valley e Calábria, cultivadas em casa de vegetação, em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico, respectivamente, em 09/12/2011 – EPOC1 (a, c, e, g) e 07/07/2012 – EPOC2 (b, d, f, h), Santa Maria, RS, 2011-2012. FATS crítica: Fração de água transpirável no substrato, quando inicia a redução do crescimento foliar relativo das plantas, devido ao início do fechamento estomático

A relação das cultivares com menor área foliar com uma FATS crítica maior, indica a existência de uma resposta fisiológica das cultivares Cherry White e Repin Bronze no sentido de conservar a água no solo, demonstrando serem estas mais tolerantes ao déficit hídrico, corroborando com os resultados de Souza et al. (2014), os quais concluíram que clones de batatas que apresentaram FATS crítica maiores foram os mais tolerantes ao estresse hídrico.

As cultivares Apple Valley e Calábria, que apresentaram valores menores de FATS crítica, tanto para a transpiração como para o crescimento foliar, atingiram a FATS crítica em menos dias do que as cultivares Cherry White e Repin Bronze, consumindo mais rapidamente a água do solo, o que pode ser um indicador de pouca tolerância à deficiência hídrica.

Verifica-se nas Figuras 16 e 17, que alguns valores normalizados de TR e de CFR ultrapassam o valor de um, o que pode ser explicado em função de que os valores normalizados de TR e CFR são calculados dividindo-se os dados de transpiração e crescimento foliar, respectivamente, de dez repetições do T2, pela média da transpiração e do crescimento foliar das repetições do T1 (Equações 1 e 7). A maior transpiração de algumas plantas do T2 ocorreu em função da maior altura, maior área foliar e, por consequência, maior área transpirável, em relação às plantas do T1.

A variabilidade observada nos valores de TR e CFR, principalmente quando a transpiração é potencial, deve-se à resposta das plantas às variações das condições ambientais, uma vez que nesta fase ainda não existe deficiência hídrica no substrato e, também, devido à variação no desenvolvimento de algumas plantas do T2, que resultou em diferentes alturas, embora tenha sido feita uma seleção criteriosa para que ocorresse a homogeneidade entre as plantas.

Os valores de FATS crítica encontrados para a TR e o CFR foram superiores aos valores de FATS crítica encontrados por Lago et al. (2011) em batata e mandioca, em condições de baixa demanda evaporativa do ar, embora as demandas verificadas pelos autores tenham sido um pouco maiores que as demandas verificadas neste experimento.

Pelos valores de FATS crítica obtidos, observa-se que o crescimento foliar foi reduzido antes que houvesse redução na transpiração (Tabela 7 e Figuras 16 e 17), ou seja, a FATS crítica para CFR foi maior que para TR. Esse resultado confirma que o crescimento foliar é mais sensível que a transpiração em relação ao déficit hídrico, sendo a primeira linha de defesa das plantas, corroborando com os estudos de Taiz e Zeiger (2009).

A redução do crescimento foliar ocorre antes que o início do mecanismo de fechamento estomático seja ativado, em função da redução do turgor e da consequente contração das células, bem como do aumento da concentração de solutos, induzindo a uma

diminuição na divisão e expansão celular e, com isso, diminuição no crescimento foliar, confirmando ser a primeira estratégia de defesa das plantas ao déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Na Tabela 8 pode ser observado que, quando se agrupa em um arquivo para fins de análise estatística, as médias de FATS crítica para transpiração e crescimento foliar das repetições referentes às cultivares consideradas de vaso (Cherry White e Apple Valley) e as médias de FATS crítica das repetições das cultivares consideradas de corte (Repin Bronze e Calábria), não apresentam uma resposta diferenciada da transpiração e do crescimento foliar, pois não ocorreram diferenças estatisticamente significativas em relação à fração de água transpirável crítica, observando que nesta situação, a resposta ao estresse hídrico das cultivares de vaso e de corte é similar, apresentando semelhante grau de tolerância, mesmo em épocas diferentes de implantação.

A determinação da FATS crítica para as cultivares de crisântemo pode ser um instrumento para auxiliar na determinação de um *fator p*, assim como foi utilizado por Heinemann, Stone e Fageria (2011) para determinar a fração de água disponível no substrato, que pode ser retirada da zona radicular antes de ocorrer deficiência hídrica, assumindo-se que o *fator p* ocorra quando a transpiração for potencial, isto é, que a FATS esteja no intervalo em que a TR estiver entre 1,00 a 0,95. Esse critério poderia ser utilizado como instrumento para auxiliar no controle da umidade do substrato na produção de crisântemo.

Um manejo racional para a cultura, com irrigações menos frequentes e com volumes adequados, pode ser proporcionado com os resultados encontrados, concordando com Lieth e Burger (1989), que demonstraram que quantidades excessivas de água são usadas na produção comercial de crisântemos em vaso, e que a mesma qualidade comercial pode ser obtida utilizando-se uma menor lâmina de água total no ciclo.

Além disso, as informações obtidas podem direcionar um programa de estratégias de melhoramento para incrementar a tolerância à deficiência hídrica nas cultivares de crisântemo, visto que podem ser caracterizados genótipos mais tolerantes, diminuindo-se os riscos na produção.

Tabela 8 - Fração de água transpirável no substrato em que inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para transpiração relativa (TR) e para o crescimento foliar relativo (CFR) das cultivares de vaso (Cherry White e Apple Valley) e das cultivares de corte (Repin Bronze e Calábria), submetidas aos tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2), cultivadas em casa de vegetação em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 09/12/2011 (EPOCA1) e 07/07/2012 (EPOCA2), Santa Maria, RS, 2011-2012

FATS crítica para a TR			
Cultivar	EPOC1	EPOC2	MÉDIA
De Vaso	0,59	0,57	0,58 A
De Corte	0,54	0,57	0,56 A
Média	0,57 a	0,57 a	
CV (%)	21,4	17,4	
FATS crítica para a CFR			
De Vaso	0,61	0,65	0,63 A
De Corte	0,58	0,65	0,62 A
Média	0,60 a	0,65 a	
CV (%)	25,6	21,1	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

Com base nas análises feitas, verifica-se que a metodologia estudada para a determinação da FATS crítica se mostrou adequada para representar a resposta do crisântemo ao secamento do substrato, pois permitiu constatar em que fração de água transpirável no substrato ocorre a redução da transpiração e do crescimento foliar e, como consequência, as cultivares mais sensíveis à deficiência hídrica.

5 CONCLUSÕES

A transpiração começa a ser reduzida, indicativo do início do fechamento estomático, com um valor de FATS crítica médio para as duas épocas experimentais de 0,63 para a cultivar Cherry White; 0,60 para a cultivar Repin Bronze; 0,53 para a cultivar Apple Valley; e 0,51, para a cultivar Calábria.

A redução do crescimento foliar do crisântemo inicia com um valor de FATS crítica médio para as duas épocas experimentais de 0,67 para a cultivar Cherry White; 0,69 para a cultivar Repin Bronze; 0,59 para a cultivar Apple Valley; e 0,54, para a cultivar Calábria.

O valor de FATS crítica, que afeta a transpiração e o crescimento foliar, difere entre cultivares de crisântemo.

As cultivares Cherry White e Repin Bronze apresentam maior tolerância ao déficit hídrico do que as cultivares Apple Valley e Calábria.

Os valores de FATS crítica, para a TR e para o CFR não diferem entre as duas épocas.

O crescimento foliar começa a ser reduzido com um valor de FATS crítica maior do que o valor de FATS crítica que reduz a transpiração.

A deficiência hídrica afeta negativamente as variáveis de crescimento e de desenvolvimento de cultivares de crisântemo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, N.O. Reclassifications of the genus *Chrysanthemum* L. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 2, p. 313, 1987.
- ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: O Autor, 2002. 272 p.
- ARBOS, A.M. **El crisantemo: cultivo, multiplication y enfermedades**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 170 p.
- BECKMANN-CAVALCANT, M.Z.; PIVETTA, K.F.L.; CAVALCANTE, I.H.L.; CAVALCANTE, L.F.; BELLINGIERI, P.A. Soluções nutritivas no desenvolvimento do crisântemo cultivado m vaso. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.2, p.205-219, abr./jun. 2009.
- BELLÉ, R.A. **Apostila didática de floricultura**. Santa Maria: UFSM, 2000. 142 p.
- BINDI, M.; BELLESI, S.; ORLANDINI, S.; FIBBI, F.; MORIONDO, M.; SINCLAIR, T.R. Influence of water deficit stress on leaf area development and transpiration of Sangiovese grapevines grown in pots. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 56, n. 1, p. 68-72, Mar. 2005.
- BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, Washington, v. 218, n. 4571, p. 443-448, Oct.1982.
- BRAY, E.A. Plant responses to water deficit. **Trend in Plant Science**, London, v. 2, n. 2, p. 48-54, Feb. 1997.
- BURIOL, G.A.; STRECK, N.A.; PETRY, C.; SCHNEIDER, F.M. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.
- CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, L.F. **Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: UFSM, Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88 p.
- DAVIES, W.J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytologist**, Cambridge, v. 153, n. 3, p. 449-460, Mar. 2002.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FARIAS, M.F. de; 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, n. 2, p. 160-167, maio/ago. 2003.

- FARIAS, M.F. de; SAAD, J.C.C.; CARNIETTO, M.; LASCHI, D. Efeito de tensões de água no solo na qualidade e longevidade floral do crisântemo de corte. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 2, n. 1, p. 135-140, jan./abr. 2009.
- FURLAN, R.A.; BOTREL, T.A.; PAZ, V.P.S. Consumo de água pela cultura do crisântemo envasado sob condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 52-55, 1998.
- HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 39, n. 2, p. 134-139, abr./jun. 2009.
- HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; FAGERIA, N.K. Transpiration rate response to water deficit during vegetative and reproductive phases of upland rice cultivars. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 24-30, Jan./Feb. 2011.
- KARLSSON, M.G.; HEINS, R.D.; ERWIN, J.E.; BERGHAGE, R.D.; CARLSON, W.H.; BIERBAUM, J.A. Irradiance and temperature effects on time of development and flower size in chrysanthemum. **Scientia Horticulturae**. Amsterdam, v. 39, p. 257-267, 1989.
- KINIRY, J.R.; LANDIVAR, J.A.; WITT, M.; GERIK, T.J.; CAVERO, J.; WADE, L.J. Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 3, p. 265-270, Apr. 1998.
- KOFRANEK, A.M. Cut chrysanthemum. In: LARSON, A.R. (Ed.). **Introduction to floriculture**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1992. p. 3-42.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências Exatas, Santa Maria, v.2, n.1, p.171-182, 2001.
- LARSON, R.A. **Introduction to floriculture**. San Diego: Academic Press, 1997. 636 p.
- LAVILA, A.M. **El crisantemo: cultivo, multiplicación e enfermedades**. Madrid: Mundi Prensa, 1992. 170 p.
- LAGO, I.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A.; SOUZA, A.T. de; SILVA, M.R. da. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao deficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 11, p. 1415-1423, nov. 2011.
- LAGO, I.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; HANAUER, J.G.; BISOGNIN, D.A.; SILVA, M.R. da. Transpiração e crescimento foliar de clones de batata em resposta à fração de água transpirável no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 745-754, maio/jun. 2012.
- LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 331-335, 1996.

LIETH; BURGER, D.W. Growth of chrysanthemum using an irrigation system controlled by soil moisture tension. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 114, n. 3, p. 387-392, 1989.

MARTINS, F.B.; STRECK, N.A.; SILVA, J.C. da; MORAIS, W.W; SUSIN, F.; NAVROSKI, M.C.; VIVIAN, M.A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1297-1306, 2008.

MELLO, J.B. **Ação do ácido giberélico e dias curtos interrompidos em crisântemo de corte (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.)**. 2003. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MIRANDA, M.C.; MATSUNAGA, M.; OKUYAMA, M.H. Sistema de cultivo e custo operacional de produção de crisântemos. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 103-124, 1994.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46 p.

MORENO-FONSECA, L.P. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico: una revisión. **Agronomia Colombiana**, Bogotá, v. 27, n. 2, p. 179-191, 2009.

MOTA, F.S.; BEIRSDORF, M.I.C.; GARCEZ, J.R.B. **Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Pelotas: IPEAS, 1971. 80 p.

MOTOS, J.R.; OLIVEIRA, M.J.G. **Produção de crisântemos em vasos**. Holambra: Edições Flortec, 1998. 40 p.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Water deficits effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 1052-1059, 1991.

PETRY, C. **Plantas ornamentais: aspectos para a produção**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2000. 160 p.

PINHEIRO, D.G. **Plantas de mandioca submetidas a um e dois ciclos de secamento do solo**. 2013. 65 p. (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

RAY, J.D.; SINCLAIR, T.R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 3, p. 803-807, 1997.

REGO, J.L.; VIANA, T.V.A.; AZEVEDO; B.M.; ARAÚJO, W.F.; FURLAN, R.A.; BASTOS, F.G.C. Produtividade de crisântemo em função de níveis de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 45-48, jan./mar. 2009.

ROYAL VAN ZANTEN. **Variedades de crisântemos**. Artur Nogueira, 2004. 20 p.

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

SCATOLINI, M.E. **Estimativa da evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos**. 1996. 70 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A.; CARDOSO, A.A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, Curitiba, v. 34, p. 325-335, 2004.

SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. I. Model development. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 15, p. 125-141, 1986.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, p. 319-340, 1986.

SINCLAIR, T.R.; HOLBROOK, N.M.; ZWIENIECKI, M.A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree Physiology**, Victoria, v. 25, p. 1469-1472, 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 394 p.

SOUZA, A.T. de; STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BISOGNIN, D.A.; WINCK, J.E.M.; ROCHA, T.S.M. da; ZANON, A.J. Transpiration and leaf growth of potato clones in response to soil water deficit. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 2, p. 96-104, 2014.

SOUZA, L.D.; REICHARDT, K. Estimativas e utilização da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 183-189, 1996.

STRECK, N.A. Do we know how plants sense a drying soil? **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 581-584, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Readward City: The Benjamin/Cummings Publ., 1991. 565 p.

_____. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

_____. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TEIXEIRA, A.J. **Espaço do agricultor**. EMATER-RIO. 2004. 42 p. Disponível em: <http://www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/frutas/A_cultura_do_crisantemo_de_corte.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2013.

TOLOTTI, J.C.C. **Efeito de redutores de crescimento em crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) “Snowdon” cultivado em vaso**. 2001. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

TOMBOLATO, A.F.C. **Cultivo comercial de plantas ornamentais**. Campinas: IAC, 2004. 211 p.

VEILING. **Comercialização de vasos de crisântemos**. Disponível em: <<http://www.veiling.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2012.

WAHBI, A.; SINCLAIR, T.R. Transpiration response of Arabidopsis, maize, and soybean to drying of artificial and mineral soil. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 59, n. 2, p. 188-192, Mar. 2007.

WEISZ, R.; KAMINSKI, J.; SMILOWITZ, Z. Water deficit effects on potato leaf growth and transpiration: utilizing fraction extractable soil water for comparison with other crops. **American Potato Journal**, Orono, v. 71, p. 829-840, 1994.

WHEALY, C.A.; NELL, T.A.; BARRET, J.E.; LARSON, R.A. High temperature effects on growth and floral development of chrysanthemum. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Raleigh, v. 112, n. 3, p. 464-468, 1987.

ANEXO

Análise química do substrato utilizado para o experimento.

MEC - Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos Santa Maria/RS Cep: 97105-900 Fone/Fax: (55)3220-8153 http://www.ufsm.br/solos Laudo de Análise de Solo
Nome: PESQUISA UFSC Município: SANTA MARIA Localidade:		Solicitante: COOPEASM Endereço: CAMPUS Entrada: 24/08/11		Emissão: 08/09/2011					
Registro	Cx.	Cel.	Identificação da amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Prof. (cm)	Georref.		
21414	C380	1							
Diagnóstico para acidez do solo e calagem									
Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol/dm ³					Al	Bases	
21414	5,9	18,0	6,8	0,0	3,5	26,6	0,0	88,2	6,2
Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S									
Registro	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	P-resina	K	CTC pH7	K
	m/v			mg/dm ³			cmol/dm ³	mg/dm ³	
21414	9,5	19,0	4,0	120,3	138,8	--X--	1,698	30,1	664,0
Diagnóstico para micronutrientes e relações molares									
Registro	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	mg/dm ³						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
21414	1,4	3,9	0,3	--X--	26,2	--X--	2,6	14,60	0,341
Vinculado à ROLAS-RS/SC Impressa, S 1ª via
Responsável Técnico Eng. Agr. Sandro José Giacchini CREA 300472					