

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Francielle Altíssimo Bortolás

**MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PRODUÇÃO PARA
ALSTROEMERIA X HYBRIDA IRRIGADA EM AMBIENTE
PROTEGIDO**

Santa Maria, RS
2019

Francielle Altíssimo Bortolás

**MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PRODUÇÃO PARA
ALSTROEMERIA X HYBRIDA IRRIGADA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marcia Xavier Peiter

Santa Maria, RS
2019

Altíssimo Bortolás, Francielle
MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PRODUÇÃO PARA
ALSTROEMERIA X HYBRIDA IRRIGADA EM AMBIENTE PROTEGIDO /
Francielle Altíssimo Bortolás.- 2019.
80 p.; 30 cm

Orientadora: Marcia Xavier Peiter
Coorientador: Adroaldo Dias Robaina
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2019

1. Coeficiente de penalização 2. modelagem 3.
horticultura 4. déficit hídrico I. Xavier Peiter, Marcia
II. Dias Robaina, Adroaldo III. Título.

Francielle Altíssimo Bortolás

**MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PRODUÇÃO PARA
ALSTROEMERIA X HYBRIDA IRRIGADA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 5 de agosto de 2019:

Marcia Xavier Peiter, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)
(Coorientador)

Ana Rita Costenaro Parizi, Dra. (IFFar)

Leonita Beatriz Girardi, Dra. (IDEAU)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força para poder concluir este trabalho. Em meio às dificuldades e “incidentes” de percurso, não poderia concluir o presente trabalho sem a força divina. A fé e o gosto pela escrita me fizeram seguir em frente. À minha orientadora Marcia Xavier Peiter e coorientador, Adroaldo Dias Robaina, importantes na minha trajetória, depositando sua confiança para a realização deste trabalho. Deixo meus sinceros agradecimentos à Leonita Beatriz Girardi, por ter disponibilizado seus dados para a realização do meu trabalho.

Agradeço à minha mãe, Miriam Salete Altissimo Baldicera, ao meu noivo Leocadio da Conceição Dias e irmãos, Fabiano e Adriano. Aos colegas que tive convívio na fase de desenvolvimento, representantes do Laboratório de Engenharia de Irrigação. À Universidade Federal de Santa Maria, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade oferecida.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para poder realizar este trabalho, aos colegas que estiveram presentes na minha fase de turbulência, não cito nomes, mas vocês sabem a importância que tiveram para realização da dissertação que se faz presente. Em meio a procedimentos cirúrgicos, problemas financeiros e emocionais, venci mais esta etapa com a glória do Senhor.

GRATIDÃO!

“...O mundo não é um mar de rosas. É um lugar ruim e asqueroso... e não me importo quão durão você é... ele te deixará de joelhos e te manterá assim se permitir. Nem você, nem eu, nem ninguém baterá tão forte quanto a vida. Mas isso não se trata de quão forte pode bater. Se trata de quão forte pode ser atingido... e continuar seguindo em frente. Quanto você pode receber e continuar seguindo em frente. É ASSIM QUE A VITÓRIA É CONQUISTADA!...

Rocky Balboa

RESUMO

MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PRODUÇÃO PARA *ALSTROEMERIA X HYBRIDA* IRRIGADA EM AMBIENTE PROTEGIDO

AUTORA: FRANCIELLE ALTÍSSIMO BORTOLÁS
ORIENTADORA: MARCIA XAVIER PEITER

A modelagem da produtividade de culturas, quando inserida no setor ornamental, é pouco difundida. Existem poucos modelos específicos para estimar a produção das culturas ornamentais, devido à exigência de parâmetros calibrados para os modelos. Tais parâmetros são uma condição para que o modelo estime a produção para as condições meteorológicas do local. A produção real (P_r) está diretamente ligada às condições meteorológicas e conversão de energia. Os modelos agrometeorológicos são utilizados pela baixa exigência de dados de entrada e simplicidade, uma vez que modelos como o de Jensen (1968) utilizam apenas a evapotranspiração relativa (ETr/ETp) como variável independente. O objetivo do presente estudo foi determinar a produção real (P_r) e a evapotranspiração real (ETr) para a *Alstroemeria x hybrida* de acordo com porcentagens de déficit hídrico (90, 75, 60, 45 e 30% de capacidade de retenção de vaso - CRV). Para a estimativa de P_r , utilizou-se o modelo agrometeorológico de Jensen (1968) e para ETr utilizou-se o método de balanço hídrico (BH), segundo Thornthwaite e Mather (1955). Para determinar a produtividade potencial (P_p) utilizou-se o método de Wageningen (MWA) e para estimar a evapotranspiração potencial (ETp) foi necessária a relação da evapotranspiração de referência (ETo) com o coeficiente de cultivo (Kc). O ETo foi obtido pelo método de Penman (1948). Determinaram-se os fatores de penalidade (λ_i) para os déficits hídricos (90, 75, 60, 45 e 30% da CRV). A determinação dos fatores se deu por meio da técnica de regressão múltipla utilizando-se o método de mínimos quadrados múltiplos (MQM), com base em transformações logarítmicas dos termos de rendimento relativo médio (P_r/P_p) como porcentagens de CRV e evapotranspiração relativa média (ETr/ETP), de acordo com fases fenológicas. As fases fenológicas foram adaptadas de Girardi (2016): início do crescimento e desenvolvimento (ICD), pleno crescimento e desenvolvimento (PCD) e fase de queda no crescimento e desenvolvimento (QCD). Os valores de 0,2067, 0,3197 e -0,1124 foram estimados para os fatores de penalização acordo com as fases fenológicas da cultura. A eficiência explicativa levou a um R^2 de 0,922. Os maiores valores de ETr e ETp foram encontrados na fase de QCD (150 a 330 dias após o transplante - DAT) e os menores valores foram encontrados para a fase ICD (0 a 150 DAT). Para P_r os maiores valores foram encontrados nas fases de QCD (330 a 420 DAT) e os menores valores para a fase ICD. A precisão das estimativas dos resultados observados e estimados pelo modelo basearam-se nos índices de concordância (Ic), precisão (Ip), desempenho (Id) e erro relativo médio (ERM). Para a estimativa da ETr foram obtidos os seguintes resultados: 0,859; 0,662 e 0,569 para os índices Ic, Ip e Id. Os valores obtidos nas análises classificaram o modelo com concordância muito boa, precisão moderada e desempenho moderadamente bom na estimativa de ETr. Os resultados obtidos na estimativa de P_r foram: 0,945; 0,9452 e 0,893, classificando o modelo com concordância, precisão e ótimo desempenho. O modelo proposto foi capaz de estimar a produção e evapotranspiração para a *Alstroemeria x hybrida*.

Palavra Chave: Coeficiente de penalização, modelagem, horticultura, déficit hídrico.

ABSTRACT

MODELING OF EVAPOTRANSPIRATION AND PRODUCTION FOR *ALSTROEMERIA x HYBRIDA* IRRIGATED ON PROTECTED ENVIRONMENT

AUTOR: FRANCIELLE ALTISSIMO BORTOLÁS
ADVISOR: MARCIA XAVIER PEITER

Modeling of crop productivity, when inserted in the ornamental sector, is not widespread. There are few specific models for estimating ornamental crop production due to the requirement of calibrated parameters for the models. Such parameters are a condition for the model to estimate production for the local weather conditions. Real production (P_r) is directly linked to weather conditions and energy conversion. Agrometeorological models are used for their low input data requirements and simplicity, since models such as Jensen's (1968) use only relative evapotranspiration (E_{Tr} / E_{Tp}) as the independent variable. The aim of the present study was to determine the actual yield (P_r) and actual evapotranspiration (E_{Tr}) for *Alstroemeria x hybrida* according to water deficit percentages (90, 75, 60, 45 and 30% vessel holding capacity - VHC). To estimate P_r , we used the Jensen agrometeorological model (1968) and for E_{Tr} the water balance method (BH), according to Thornthwaite and Mather (1955). To determine potential yield (P_p) the Wageningen method (MWA) was used and to estimate potential evapotranspiration (E_{Tp}) the relationship of reference evapotranspiration (E_{To}) with the crop coefficient (K_c) was necessary. The E_{To} have being obtained by the Penman method (1948). Penalty factors (λ_i) were determined for water deficits (90, 75, 60, 45 and 30% of VHC). Factors were determined using the multiple regression technique using the multiple least squares (MLS) method, based on logarithmic transformations of mean relative yield terms (P_r/P_p) as percent VHC and mean relative evapotranspiration. (E_{Tr}/E_{Tp}) according to phenological phases. The phenological phases were adapted from Girardi (2016): beginning of growth and development (BGD), full growth and development (FGD) and decline in growth and development (DGD). The values of 0.2067, 0.3197 and -0.1124 were estimated for the penalty factors according to the phenological phases of the culture. The explanatory efficiency led to an R^2 of 0.922. The highest E_{Tr} and E_{Tp} values were found in the QCD phase (150 to 330 days after transplantation - DAT) and the lowest values were found for the BGD phase (0 to 150 DAT). For P_r the highest values were found in the DGD phases (330 to 420 DAT) and the lowest values for the BGD phase. The accuracy of the estimates of the observed and estimated results by the model was based on the agreement (Ic), precision (Ip), performance (Id) and mean relative error (ERM) indices. To estimate the E_{Tr} , the following results were obtained: 0.859; 0.662 and 0.569 for the Ic , Ip and Id indices. The values obtained in the analyzes classified the model with very good agreement, moderate accuracy and moderately good performance in the estimation of E_{Tr} . The results obtained in the estimation of P_r were: 0,945; 0.9452 and 0.893, classifying the model with agreement, precision and optimum performance. The proposed model was able to estimate the production and evapotranspiration for *Alstroemeria x hybrida*.

Keywords: Penalty coefficient, modeling, horticulture, water deficit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Valores médios referentes à variável número de hastes florais (NHF) e evapotranspiração real da cultura (ETr, em mm) para os distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30%) de déficit hídrico conforme capacidade de retenção de vaso (CRV).	35
Figura 2 - Variação média das variáveis meteorológicas: radiação solar (MJ/m ²), temperatura máxima e mínima (°C) e umidade relativa (%) ao longo do ciclo da cultura, definido em dias após o transplante (DAT).	36
Figura 3 - Parâmetros (Ro, yc e yo) necessários para utilização do modelo agrometeorológico ao longo dos dias do ano (dias juliano) para a região de Santa Maria-RS.	38
Figura 4 - Valores médios para os fatores de correção para a parte colhida (cH), para a temperatura (cT) e para o efeito do clima [ETm/(ea-ed)] conforme dias após o transplante (DAT).	41
Figura 5 - Comportamento da evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração potencial (ETp) ao longo dos dias após transplante (DAT) para os percentuais de 90 (A), 75 (B), 60 (C), 45 (D) e 30 (E)% da capacidade de retenção de vaso (CRV) para a cultura da <i>Alstroemeria</i>	52
Figura 6 - Comportamento do rendimento real (Yr) e rendimento potencial (Yp) ao longo dos dias após transplante (DAT) para os percentuais de 90 (A), 75 (B), 60 (C), 45 (D) e 30 (E)% da capacidade de retenção de vaso (CRV) para a cultura da <i>Alstroemeria x hybrida</i>	54
Figura 7 - Valores médios para a evapotranspiração real (ETr) observada e estimada conforme os percentuais (90, 75, 60, 45 e 30) da capacidade de retenção de vaso (CRV) para a cultura da <i>Alstroemeria x hybrida</i>	57
Figura 8 - Comportamento da evapotranspiração real (ETr em mm) observada e estimada para a cultura da <i>Alstroemeria x hybrida</i> para os distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30) da capacidade de retenção de vaso - CRV.	59
Figura 9 - Valores médios do rendimento real (Yr) observado e estimado para a cultura da <i>Alstroemeria x hybrida</i> para os distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30) da capacidade de retenção de vaso (CRV).	60
Figura 10 - Comportamento do rendimento real (Yr) observado e estimado para a cultura da <i>Alstroemeria x hybrida</i> para os distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30%) da capacidade de retenção de vaso (CRV).	62
Figura 11 - Valores referentes ao erro relativo médio (ERM) das estimativas de evapotranspiração real (ETr) da cultura e rendimento real da cultura (Yr), avaliados conforme os dados observados e estimados para a cultura da <i>Alstroemeria</i>	64

LISTA DE SÍMBOLOS

λ_i	Fator de penalização da produtividade por déficit hídrico;
Δt	Intervalo de tempo;
Δh	Variação do armazenamento de água;
Δe	Déficit de Pressão de vapor de água;
BH	Balanco hídrico;
COBAPLA	Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura
cH	Correlação para a parte colhida da cultura;
CRV	Capacidade de retenção de água pelo vaso;
cT	Correlação para a temperatura;
D	Percolação ou drenagem;
DAT	Dias após o transplante;
Ea	Fator aerodinâmico da evapotranspiração;
ea	Pressão de vapor atual do ar;
ERM	Erro Relativo Médio;
es	Pressão de saturação de vapor;
ET	Evapotranspiração;
ETp	Evapotranspiração potencial;
ETc	Evapotranspiração da cultura;
ETo	Evapotranspiração de referência;
ETr	Evapotranspiração real da planta;
ETr-obs	Evapotranspiração real observada;
ETr/ETp	Evapotranspiração Relativa;
ETm/ea-ed	Correção para o efeito do clima;
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura;
i	Número da fase do ciclo fenológico da cultura;
I	Irrigação;
IBRAFLOR	Instituto brasileiro de floricultura;
Ic	Índice de concordância;
ICD	Início do Crescimento e Desenvolvimento;
Id	Índice de desempenho;
INMET	Instituto Brasileiro de Meteorologia;
Ip	Índice de precisão;
ISNA	Índice de Satisfação de Necessidade de Água;
K	Correção para o tipo de cultura;
Kc	Coeficiente de cultivo da cultura;
LI	Limite Inferior;
LS	Limite Superior;
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento;
M^i	Massa inicial;
M^{i+1}	Massa final;
$M^{i+1}-M^i$	Intervalo entre a massa final e massa inicial;
MQM	Método dos quadrados Múltiplos;
MWA	Método de Wageningen;
n	Número de estágios da cultura;
NHF	Número de hastes florais da cultura;
p	Período total do ciclo em dias;
P	Precipitação;

PCD	Pleno Crescimento e Desenvolvimento;
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade;
PMP	Ponto de Murcha Permanente;
Pp	Produção potencial;
Pr	Produção Real;
Pr-obs	Produção real observada;
Pr/Pp	Produção relativa;
Q*	Balanço ou saldo de radiação;
QCD	Queda no Crescimento e Desenvolvimento;
Qe	Quantidade de entrada do recurso hídrico;
Qs	Quantidade de saída do recurso hídrico;
Rse	Máxima radiação solar de onda curta ativa em dias de céu limpo;
Rs	Radiação solar de onda curta;
SASP	Sistema Água-Solo-Planta;
T.bs	Temperatura base;
TDR	Time domain reflectometry;
T.máx	Temperatura máxima;
T.ot	Temperatura ótima;
t ² -t ¹	Período de tempo conhecido;
UR	Umidade Relativa do ar;
y	Constante psicrométrica do ar;
Yo	Produtividade de matéria seca total da cultura padrão;
yc	Taxa de matéria seca bruta para uma localidade a céu limpo e cultura padrão;
yo	Taxa de matéria seca bruta para uma localidade nublada e cultura padrão;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 O SETOR ORNAMENTAL	16
2.2 <i>ALSTROEMERIA X HYBRIDA</i>	17
2.2.1 Fenologia da cultura	19
2.3 CULTIVO PROTEGIDO	20
2.4 ECOFISIOLOGIA DE PLANTAS CULTIVADAS	22
2.5 O MANEJO DE IRRIGAÇÃO	24
2.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO	26
2.6.1 Evapotranspiração Potencial (ETp)	27
2.6.2 Evapotranspiração Real (ETr)	27
2.7 MODELAGEM NA AGRICULTURA	29
2.7.1 Modelos de Correlação	31
2.7.2 Parâmetros de Clima e Cultura	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 DADOS DA CULTURA	34
3.2 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	35
3.3 PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA UTILIZAÇÃO DO MODELO	37
3.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ETp)	39
3.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETr)	40
3.6 PRODUÇÃO	40
3.6.1 Modelo de produção potencial (Pp)	40
3.6.2 Modelo de produção real (Pr)	44
3.6.3 Determinação do fator hídrico de penalização da produtividade (λ_i)	41
3.7 AVALIAÇÕES ESTATÍSTICAS	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL E POTENCIAL (ETr e ETp)	50
4.2 PRODUÇÃO REAL E POTENCIAL (Pr e Pp)	53
4.3 COEFICIENTE DE PENALIZAÇÃO POR DÉFICIT HÍDRICO (λ_i)	55
4.4 VALIDAÇÃO DO MODELO	57
4.4.1 Validação da Evapotranspiração Real (ETr)	57

4.4.2 Validação da Produção Real (Pr)	60
4.4.3 Erro Relativo Médio das Estimativas	64
5 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A *Alstroemeria x hybrida* é uma espécie popular no setor ornamental, utilizada como flor de corte, destaca-se por sua beleza. Também chamada de lírio peruano, a cultura apresenta valor comercial elevado, justificando sua produção. Nativa da América do Sul, pertence à família *Alstroemeriaceae* e é caracterizada por ter várias cultivares (KAUSHAL et al. 2018; GIRARDI, 2016; SEYYEDYOUSEFI et al. 2013; AROS et al. 2012). Produzida em muitos países, a cultura é responsável por aproximadamente 400 hectares cultivados em nível mundial, atingindo uma produtividade de 400 hastes/m²/ano. Em nível nacional a preferência ocorre pelas cultivares de cores únicas, como rosa (*'Chanel'*), vermelha (*'Fuego'*), branca (*'Fuji'*) e amarela (*'Firenze'*) (TOMBOLATO et al. 2010).

A *Alstroemeria* está entre as dez flores mais comercializadas mundialmente (SA SAMOON, 2017; JUNQUEIRA e PEETZ, 2017; SA e SAES, 2015). A principal característica que interfere na escolha dos produtores pela cultura é a altura de suas hastes, sendo essa, uma exigência de órgãos como o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLOR), que padronizam a produção de flores de corte. Beleza e a vida útil de suas flores também são características que interferem na escolha dos produtores. Autores como Lone et al. (2018) realizam estudos do efeito de retardadores de crescimento na cultura, a fim de que possa ser utilizada como cultura envasada. No Brasil as espécies nativas possuem a altura de hastes inferior comparada às cultivares geneticamente modificadas, sendo desnecessária a aplicação de retardadores de crescimento. A produção da *Alstroemeria* como flor de corte exige a aquisição das cultivares geneticamente modificadas, com hastes superiores. A aquisição dessas cultivares é dificultada devido a proteção dos direitos autorais por royals, tornando muitas vezes inviável sua produção.

Apesar das dificuldades encontradas na produção das *Alstroemerias* pelos produtores, as pesquisas sobre a cultura estão em ascensão. Produzida exclusivamente em ambiente protegido devido a exigências específicas como a manutenção da temperatura do substrato, a *Alstroemeria* necessita de um manejo hídrico eficiente. Autores como Kaushal et al. (2018) e Girardi et al. (2017) apontam seu comportamento utilizando estratégias de irrigação e trazem informações sobre a importância desse manejo. O ambiente protegido é importante, pois permite a proteção das culturas contra os agentes agrometeorológicos, preservando a qualidade do produto final, que é uma exigência do setor. Por ser uma espécie onde o aporte hídrico geralmente acontece sob irrigação devido a sua condução em ambiente protegido, existe uma necessidade de um manejo eficiente.

Podendo ser realizado via clima, solo ou planta, o manejo de irrigação também realiza influência na preservação da qualidade final do produto. É possível determinar o momento e a quantidade necessária de irrigação e também, a produção de uma cultura com o auxílio de modelos de estimativa da produção. Usar estratégias de irrigação e simular o ambiente protegido nos modelos de estimativa da produção das culturas permite a obtenção de respostas perante um cenário que se aproxima da realidade no setor ornamental.

Modelos que determinam a produção de culturas, combinados com estratégias de irrigação são ferramentas que facilitam o manejo de irrigação, auxiliando na tomada de decisão. O manejo de irrigação por meio desses modelos acontece pelo monitoramento das respostas fisiológicas da cultura (JONES, 2004), considerando as variáveis agrometeorológicas do meio em que estão sendo ou serão produzidas. Os modelos que consideram variáveis agrometeorológicas são definidos como modelos agrometeorológicos, estes modelos retratam os efeitos da variação climática (BUSKE, 2017). Esses modelos são bastante utilizados por duas características, uma delas é o baixo número de variáveis de entrada no modelo e a outra característica é por se tratar de um modelo com melhor aproximação da realidade por considerar os efeitos climáticos.

A modelagem na agricultura é considerada uma técnica facilitadora na tomada de decisão, evitando o desperdício de tempo e recursos, podendo substituir ou se aliar aos experimentos físicos (LANGNER, 2015; PEITER, 1998). A importância dos modelos de estimativa da produção agrícola está no avanço tecnológico, que possibilita atender a uma demanda (cada vez mais) crescente de respostas sobre a produção das culturas. As pesquisas envolvendo modelagem no setor de horticultura ainda são deficitárias em nível nacional, pois o principal problema encontrado está na calibração de parâmetros específicos das culturas para a aplicação de modelos. A maioria das culturas ornamentais não possui dados referentes ao seu coeficiente de cultivo nem escala fenológica definidos. O presente trabalho tem como objetivo a estimativa da evapotranspiração (E_{Tr}) e produção (Pr) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*. Na literatura ainda eram inexistentes fatores de penalização por déficit hídrico para a cultura estudada, este fator é necessário para a aplicação do modelo de Jensen (1968), necessário para estimar sua produção.

4.1 OBJETIVOS

Diante das considerações apresentadas, o trabalho tem por objetivo:

4.1.1 Objetivo geral

Calibrar, validar e aplicar o modelo agrometeorológico de Jensen (1968) para realizar a estimativa da evapotranspiração real (ETr) e produção real (Pr) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida* na região de Santa Maria, RS. Além das estimativas de ETr e Pr, foi necessária a determinação do fator de penalização por déficit hídrico de acordo com a fenologia da cultura.

4.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Estimar a evapotranspiração potencial (ETp) e evapotranspiração real (ETr) da cultura da *Alstroemeria x hybrida* irrigada sob ambiente protegido;
- ✓ Estimar a produção real (Pr) para a cultura, utilizando o modelo agrometeorológico de Jensen (1968) e rendimento potencial (Pp) conforme o método de Wageningen (MWA);
- ✓ Determinar o fator de penalização por déficit hídrico de acordo com a fenologia da cultura.
- ✓ Analisar a capacidade preditiva do modelo agrometeorológico de Jensen (1968), comparando dados estimados pelo modelo, com os dados de produção real observados (Pr-obs) e evapotranspiração real observados (ETr-obs) da cultura obtidos a partir de experimento conduzido em casa de vegetação na região de Santa Maria, RS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com o objetivo de apresentar uma revisão de literatura sobre os principais pontos que fundamentam o presente trabalho, este tópico apresenta a fundamentação teórica, relativa ao tema da modelagem da produção e evapotranspiração para espécies ornamentais cultivadas. O trabalho também apresenta uma breve descrição das características da cultura estudada (*Alstroemeria x hybrida*).

2.1 O SETOR ORNAMENTAL

Considerada uma atividade que desenvolve a produção de flores e plantas ornamentais, a floricultura é um ramo do agronegócio em constante crescimento. No ano de 2017 o consumo brasileiro de flores e plantas ornamentais atingiu R\$6,9 bilhões de reais, com um crescimento superior a 6% em relação ao ano anterior (JUNQUEIRA e PEETZ, 2018). A floricultura apresenta vantagens para o setor agrícola, tais como: o aperfeiçoamento do espaço de produção, geração de empregos, fixação do produtor no campo e fuga da sazonalidade na produção (COSTA et al. 2017; PONTES, 2016; EPAMIG, 2015; JUNQUIRA e PEETZ, 2014).

O setor emprega aproximadamente nove mil trabalhadores com uma área de quinze mil hectares no território nacional conforme o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLOR). Conforme o órgão, o tamanho médio das propriedades é inferior a dois hectares. A nível nacional, os maiores consumidores são os Estados de São Paulo e Distrito Federal (BECKER, 2017). O Rio Grande do Sul é considerado o terceiro maior consumidor do mercado de flores, conforme Lima Júnior et al. (2015). Apesar da posição o Estado do Rio Grande do Sul possui grande demanda por cultivares de *Alstroemerias*, devido a baixa produção no Estado. Schwab (2011) aponta a rentabilidade do mercado ornamental devido ao valor agregado quando comparado às hortaliças e frutas.

Periodicamente são introduzidas novas cultivares no setor ornamental, o objetivo das inovações baseiam-se na melhoria das características visuais e econômicas das culturas. A durabilidade pós-colheita, resistência a pragas e doenças e homogeneidade, são destacadas entre as características a serem consideradas na criação de novas cultivares (ANACLETO et al. 2017; JUNQUEIRA e PEETZ, 2017a). Com uma infinidade de cores, tamanhos e formatos, as novas cultivares adquirem espaço no mercado e possibilitam o crescimento do setor, intensificando o consumo à cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais do Brasil.

O Brasil ainda é dependente de importação de materiais modificados, pois geralmente esses materiais são criados e exportados da Europa, desenvolvidos por países como Estados Unidos e Holanda (JUNQUEIRA; PEETZ, 2017b). No ano de 2017, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) relata que aproximadamente quatorze mil e duzentas cultivares de flores estavam registradas até julho (CARPI, 2017). A melhoria genética muitas vezes acontece para satisfazer as exigências por qualidade do setor, que possui órgãos que padronizam as culturas para a finalidade comercial. O IBRAFLOR é o órgão que padroniza o produto final no setor ornamental, neste órgão são estabelecidos padrões, que quando não são atingidos, podem perder seu valor comercial ou faz com que as culturas sejam descartadas (ASGHARI et al. 2014; SCHWAB et al. 2013). A qualidade do produto final pode ser afetada por inúmeros fatores, alguns desses fatores são: fatores ambientais, manejos e/ou tratos culturais ineficientes, ataque de pragas e/ou patógenos, colheita tardia ou problemas relacionados com a pós-colheita.

Tsegaw et al. (2011) e De Oliveira et al. (2017) apontam a logística de transporte como uma das fragilidades do setor ornamental, prejudicando o escoamento dos produtos. Cerca de 20% das flores de corte são perdidas no transporte, apontam Lima Júnior et al. (2015). Fischer et al. (2015) reafirmam que a distância entre o polo de produção e o mercado influem na qualidade e durabilidade das flores. A solução para o problema da logística pode ser solucionada com a utilização de ferramentas que estimam a produção, para realizar um escoamento total, sendo este um dos objetivos da utilização da modelagem.

2.2 *ALSTROEMERIA x HYBRIDA*

Destaque entre as mais belas flores, a *Alstroemeria* ou lírio peruano pertence à família *Alstromeriaceae*, bastante comercializada (KIASEH et al. 2016). A espécie é nativa da América do Sul e conta com muitos híbridos cultivados como plantas ornamentais ou flores de corte (KOLESIK et al. 2017; BAYER, 1987). Com preferência por ambientes úmidos e frescos para o seu crescimento e desenvolvimento (GRUPTA, 2007). A cultura contém inflorescências em cimeira umbeliforme, flores zigomorfas com padrões de listras nas pétalas. O sistema radicular do lírio peruano é composto por rizoma, com raízes tuberosas suculentas, carnosas e com pelos absorventes (SEYYEDYOUSEFI et al. 2013; ZANELA, 2009; LORENZI, 2008; TOMBOLATO, 2004).

Uma das características da *Alstroemeria* é a presença de três pétalas externas e três pétalas internas. Algumas variedades de possuem a dupla coloração de suas pétalas. Além da

cor, o melhoramento genético proporciona cultivares com altura superior às nativas, fazendo com que a cultura modificada atinja até 250 cm (OLDONI, 2012; REID, 2006). As cultivares nativas atingem cerca de 100 cm e muitas vezes os produtores não optam por elas, por não atenderem a característica principal das flores de corte, a altura de suas hastes. A maioria das cultivares produzidas a nível nacional são obtidas da hibridadora *Konst Alstroemeria* (JUNQUEIRA e PEETZ, 2018). As variedades obtidas pela hibridadora *Konst Alstroemeria* possuem características exigidas pelo mercado, sendo estas: qualidade e altura de hastes, tamanho de flores padronizado e tolerância às temperaturas elevadas. A produção bruta da cultura, segundo a hibridadora responsável pelas mudas chega a 230 há/m² (KONST ALSTROEMERIA, 2015).

Segundo Junqueira e Peetz (2017), no Brasil existem cerca de 40 cultivares de *Alstroemerias*, possuidoras de características pouco valorizadas comercialmente. Uma das características que influenciam na desvalorização dessas espécies pelo mercado é a altura de suas hastes. Nas cultivares nativas, a altura das hastes da planta é inferior à altura das hastes das cultivares geneticamente modificadas. A fim de realizar modificação genética, os programas nacionais de reprodução saem a campo para realizar coleta de material genético de espécies nativas com o intuito de classificar essas novas cultivares (HOFREITER e RODRIGUEZ, 2006). A forma de propagação da cultura acontece por micropopagação, propagação por sementes e divisão rizomática. A divisão rizomática é a mais utilizada pela eficácia do método, aponta Aros et al. (2017)

A comercialização da *Alstroemeria* como flor de corte, é destacada a nível nacional, proporcionando o segundo lugar de vendas, perdendo apenas para as rosas, destacam Tombolato et al. (2010). O lírio peruano pode ser utilizado como espécie ornamental, podendo ser cultivada em vasos, canteiros e utilizada no paisagismo (SEYYEDYOUSEFI et al. 2013). Singh et al. (2017) apontam que entre as características que se sobressaem na escolha da cultura pelos produtores, a beleza, vida útil da cultura, longo período de floração e alto rendimento de flores (BRIDGEN e OLATE, 2001).

Apesar de ser destaque na comercialização, o lírio peruano apresenta algumas dificuldades para sua produção, a principal dificuldade é encontrada na forma de aquisição da cultura e no seu manejo. As cultivares da *Alstroemeria* são protegidas por direitos autorais dos criadores (REID, 2006). No Brasil a produção de *Alstroemerias* é regida por contratos que são acordados entre produtores e criadores, onde o montante a ser pago, como royalties anuais são fixos por planta (JUNQUEIRA e PEETZ, 2017). Tombolato et al. (2010) relatam que o controle de produção é bem sucedido, não havendo propagação ilegal relevante da cultura.

São encontradas cerca de cento e trinta cultivares de *Alstroemerias* no território nacional, destas, cinquenta e duas cultivares são protegidas.

A alta suscetibilidade a danos mecânicos em transporte e manuseio aliada a baixa duração pós-colheita e os custos de produção também são problemas encontrados pelos produtores do lírio peruano. Os custos de produção referem-se à exigência da cultura pelo ambiente protegido com controle de temperatura, já a pós-colheita se relaciona com a sensibilidade da utilização de inibidores de senescência (GALATI, 2017; RAZI, 2017), necessitando um escoamento eficiente da produção. Na horticultura ornamental a pós-colheita e armazenamento é praticamente inexistente, trazendo a importância da estimativa de produção dessas culturas, a fim de atender à demanda e evitar prejuízos ao produtor. A modelagem é uma ferramenta disponível, capaz de realizar previsões de floração para distintos ambientes e culturas, auxiliando no controle da demanda de mercado (Cave et al. 2013).

O rendimento de uma cultura e sua produção seja de grãos, frutos ou flores estão diretamente ligados a condições meteorológicas e conversão de energia recebida em matéria seca. Os processos de fotossíntese e respiração se relacionam com o rendimento e a eficiência desses processos depende do estado da cultura e do meio a que está inserida. São necessários manejos eficientes para que seja disponibilizada a quantidade de água, nutrientes, energia necessárias à cultura, além do controle de patógenos.

2.2.1 Fenologia da cultura

Na fenologia os intervalos dos eventos vegetativos e reprodutivos das plantas são causados por fatores intrínsecos ou extrínsecos (MULLER et al. 2016). Fagundes et al. (2010) apontam que para a realização do manejo de uma cultura é importante ter as fases pré-estipuladas, principalmente para o manejo de irrigação, tratamento fitossanitário, adubação e principalmente para a calibração de parâmetros, quando utilizadas ferramentas de modelagem. Para as culturas de grãos existem fases definidas, com distinção vegetativa e reprodutiva de fácil identificação (CAVINESS, 1977; HANWAY, 1966). Entretanto, para as culturas ornamentais ainda existe uma lacuna de determinação, devido principalmente às novidades do setor e sua gama de culturas/cultivares.

As condições meteorológicas exercem influência sobre o comportamento das culturas, Hermes et al. (2001) afirmam que o ambiente e o componente genético são responsáveis por mudanças fisiológicas e morfofisiológicas. O ambiente exerce influência por questões como a

duração do dia, intensidade luminosa, umidade e interação desses fatores. Mensurar a escala fenológica é importante, principalmente, para evitar perdas de produção ou qualidade do produto final, pois além de definir períodos para os tratamentos culturais, a fenologia é considerada uma ferramenta que facilita as práticas de manejo. Entre os objetivos para a determinação dos estágios das culturas, Bergamaschi (2011) aponta a determinação de períodos para a realização de práticas agrícolas como o manejo de irrigação, tratamento fitossanitário, nutrição e zoneamento agrícola da cultura.

Os estágios fenológicos são definidos por períodos e sua definição depende da metodologia empregada, devendo ser considerados aspectos fisiológicos da cultura. O grau de sincronia e duração das fases fenológicas influencia na quantidade e qualidade do produto final, característica que prevalece no cultivo das flores de corte. Autores como Schwab et al. (2015) definiram épocas de cultivo para a produção de hastes para a cultura do gladiolo. Outros autores também definem escalas fenológicas para a produção de espécies ornamentais, Araujo et al. (2018) determinam fases para a cultura do girassol ornamental e Girardi et al. (2016) define fases para a cultura estudada (*Alstroemeria x hybrida*).

As metodologias de determinação buscam seguir uma sequência lógica, partindo da fase inicial, correspondente ao período de germinação até 10% de desenvolvimento vegetativo e evoluindo para as fases de desenvolvimento vegetativo e ponto de colheita ou florescimento, que correspondem a faixa entre 80 e 100% de desenvolvimento. Os limites transcritos são valores relativos propostos por DOORENBOS e KASSAM (1979).

2.3 CULTIVO PROTEGIDO

No Brasil, o cultivo protegido teve início no ano de 1980 e o principal motivo para sua adoção foram as suas vantagens, tais como a preservação da qualidade e a fuga da sazonalidade (ANDRADE et al. 2011). O uso eficiente da água, aumento da produtividade, precocidade de colheita e controle de doenças e pragas também estão entre os motivos para a adoção do cultivo protegido, apontam Mendéz et al. (2008), Oliveira et al. (2014), Chavaria et al. (2007) e VIDA et al. (2004). Responsável por modificações micrometeorológicas no ambiente, o ambiente protegido ganha espaço no mercado e evolui constantemente em infraestrutura e tecnologia (DE OLIVEIRA et al. 2017; TERUEL, 2009). A maior produção em ambiente protegido a nível mundial é encontrada na Europa.

Inicialmente os cultivos protegidos eram construídos em vidro, escolhido pela qualidade de suas propriedades, e após o surgimento do plástico, em 1932, ocorreu a

substituição por esse material, a fim de viabilizar o investimento. O material mais utilizado em casas de vegetação atualmente é o polietileno de baixa densidade (PEBD), devido à alta taxa de transparência que pode chegar a 80% de transmissão do conteúdo de radiação solar. É imprescindível saber características como o tipo de material, cor e idade, pois existe interferência na taxa de transmissão da radiação solar. Outras características que são convenientes na escolha do tipo de material são referentes à sua flexibilidade, facilitando seu manuseio. A escolha do material também é embasada em seu custo, podendo viabilizar o investimento. Além do plástico, as malhas são opções para a cobertura das casas de vegetação, variando conforme sua cor e espessura, diferenciando-se conforme o grau de sombreamento (DE PAULA, 2017).

No Brasil existem 22 mil hectares de cultivo protegido, sendo o Estado de São Paulo responsável pela metade dessa área, conforme o Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura (COBAPLA). A maior parte das plantas ornamentais e hortaliças são cultivadas em casas de vegetação, sendo estes, ambientes com cobertura plástica, não climatizada, se diferenciando do ambiente controlado, onde é possível realizar o controle das condições edafoclimáticas. O cultivo em casas de vegetação procura melhorar as condições do ambiente interno, sendo a principal preocupação a prevenção de condições extremas que possam ocasionar danos, como a temperatura extrema e precipitação intensa (GANLIEL e VAN BRUGGEN, 2015).

Muitas pesquisas procuram descrever a influência das variáveis climáticas no desenvolvimento das culturas submetidas ao ambiente protegido. Rebouças et al. (2015) ao pesquisar sobre a interferência da radiação solar e temperatura do ar no ambiente protegido constatou que as variáveis mencionadas se correlacionam e seus valores são distintos dos valores obtidos à céu aberto. Para a temperatura média do ar, no interior das casas de vegetação acontece um incremento de seu valor, podendo ocorrer uma variação de 0,5 à 9°C. Para a condição de temperatura mínima do ar, geralmente é mantido o mesmo valor do ambiente externo (HELDWEIN et al. 2001). A explicação para o incremento da temperatura do ar no interior do ambiente protegido está na ausência da ascensão do ar, impossibilitada pela cobertura plástica. Os valores máximos para a variável temperatura média do ar são encontrados no intervalo das 12 às 16 horas, devido ao ângulo de incidência da radiação solar.

O conteúdo de radiação solar (R_s) disponível para as culturas se relaciona com o tipo de material escolhido, Rebouças et al. (2015) apontam que geralmente o valor da radiação solar que chega no interior do ambiente protegido é reduzido devido a taxa de transmissão do material de cobertura. Geralmente os materiais possuem uma taxa de 80% de transmissão,

variando conforme o material adotado. A escolha do material interfere no conteúdo de radiação disponível para a cultura, exercendo influência sobre sua produção. O excesso da variável pode acelerar o fechamento dos estômatos e seu déficit pode dificultar o processo de fotossíntese. A disponibilidade ideal de R_s incrementa a produção de fotoassimilados e sua disponibilidade para o crescimento e desenvolvimento da cultura, justificando a utilização da variável para obtenção do rendimento da cultura (FONSECA et al. 2006).

Para a variável umidade relativa do ar, o comportamento é inverso quando comparada com a temperatura média do ar, pois seu valor é inferior no interior do ambiente protegido no período em que a umidade relativa externa é elevada, compreendido no intervalo das oito às quatorze horas no período de 24 horas do dia. Porém, a umidade relativa do ar é influenciada pela temperatura do ar, pois quando acontece redução na temperatura externa, existe um mecanismo de controle que preserva a umidade relativa no interior do ambiente protegido (BURIOL et al. 2000). Esse mecanismo de controle é uma resposta do acúmulo de energia que acontece durante o dia, sendo essencial para a manutenção da temperatura e umidade relativa do ar durante a noite. As variáveis climáticas, temperatura média do ar, radiação solar e umidade relativa do ar possuem uma interligação forte, tornando-as dependentes umas das outras, principalmente no ambiente protegido. Este tópico buscou apontar um breve histórico sobre o cultivo protegido, apresentando vantagens e explicando a interferência do ambiente nas variáveis meteorológicas que influenciam a produção das culturas.

2.4 ECOFISIOLOGIA DE PLANTAS CULTIVADAS

Neste tópico são expostos os fatores do ambiente, manejos e tratamentos que influenciam no desempenho de uma cultura, apontando assim, os tipos de interferência do meio sob as plantas cultivadas, sendo esta, a definição da ecofisiologia. A interação do meio sob as culturas pode diminuir ou aumentar seu desempenho, isso acontece devido aos fatores ambientais, que podem afetar nos processos fisiológicos. A ecofisiologia de plantas cultivadas procura compreender as respostas das culturas frente aos fatores que interferem no seu desempenho. Alguns dos principais fatores de interferência do desempenho das culturas são: temperatura, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento e fotoperíodo. No entanto, existem outros fatores que também exercem influência sobre o desempenho de uma cultura, porém, menos relacionados com o ambiente e mais relacionados com o manejo e tratamentos culturais. O manejo de irrigação, escolha do substrato/solo, tratamento fitossanitário e de adubação são exemplos de fatores que interferem

no desenvolvimento das culturas, essa interferência pode acontecer de forma positiva ou negativa. Para atingir ou se aproximar do rendimento máximo, devem ser satisfeitas as exigências das culturas, por meio de tratamentos culturais e manejos eficientes.

Consideradas como sistemas orgânicos abertos, as plantas dependem de uma troca de energia constante, portanto, todos os processos fisiológicos ficam suscetíveis ao meio, sendo influenciados por fatores externos. O cultivo em substratos é considerado o meio alternativo mais comum de cultivo sem solo (PARDOSSI et al. 2011), considerados viáveis no setor de horticultura ornamental. O substrato pode ser obtido por meio de mescla entre distintos materiais, com o objetivo de satisfazer as necessidades das culturas, tanto estruturais como nutricionais. Autores como Costa et al. (2017) e Zanello et al. (2016) buscam respostas para o substrato ideal, avaliando composições no desenvolvimento de espécies ornamentais como a rosa e outras nove espécies anuais para o cultivo em vaso. A avaliação do substrato ideal acontece pela análise das características químicas e físicas (SCHAFER et al. 2015; KAMPF, 2005). Mercurio (2007) aponta que a ausência de elementos patogênicos, estruturação equilibrada e características químicas e físicas adequadas interferem em sua escolha.

Além dos fatores mencionados, os elementos meteorológicos também influenciam na produção, esses elementos geram uma modificação micrometeorológica quando se utiliza o ambiente protegido para a produção. O ambiente protegido é o habitat de muitas culturas ornamentais e a modificação micrometeorológica acontece devido ao fenômeno de reflexão e absorção dos raios solares ocasionados pelo material de cobertura do ambiente, alterando o balanço de radiação pela redução de valores da Radiação Solar (R_s) (DE OLIVEIRA et al. 2017; ROSA, 2012). A variável R_s influencia a produção por ser responsável pela fotossíntese, podendo ser utilizada nas estimativas de rendimento conforme sua quantidade incidente e interceptada (ORTOLANI e CAMARGO, 1987). Mensurada externamente, a R_s pode ser calculada para o ambiente protegido através de um desconto do percentual de transmissividade. Gallardo et al. (2013) afirmam que a redução da R_s no interior do ambiente protegido pode atingir 40% do valor, em relação ao ambiente externo.

Considerada como a força motriz, a radiação solar interfere diretamente nos processos fisiológicos da cultura, porém, outros fatores como a temperatura, umidade relativa e déficit de pressão também são responsáveis pelos processos de evaporação e vaporização que acontece na cavidade estomática (COSTA, 2014; ALLEN et al. 1988). A produção de matéria seca, por exemplo, se relaciona com a capacidade da planta na conversão de energia, estando esta capacidade ligada à temperatura, estado nutricional e equilíbrio hídrico, ou seja, relacionada a mais de um fator do ambiente (FIGUEIREDO JÚNIOR, 2004).

Conforme Streck (2004) para a variável temperatura existem faixas cardeais, sendo estas, temperatura máxima (T.max), temperatura ótima (T.ot) e temperatura base (T.bs). A Tbs é considerada como a temperatura em que abaixo dela o desenvolvimento e crescimento da planta não acontece (YANG et al. 1995). Para culturas tropicais e subtropicais, a faixa de temperatura ótima está entre 30 e 40°C, para as demais culturas, a faixa encontra-se entre 15 e 30°C. A produção potencial segue uma faixa crescente, passando pela T.bs até atingir a T.ot e após, acontece a interrupção no seu crescimento e desenvolvimento, compreendendo a faixa de T.max (HAMRICK, 2003; LARCHER, 2000).

A umidade relativa (UR) também é um dos elementos meteorológicos que influenciam no rendimento e qualidade das culturas, devido a interações como a redução do consumo hídrico, prevenção e manifestação de doenças/pragas e patógenos. A UR interfere na carga térmica, no aquecimento ou resfriamento da cultura, controlando assim a abertura e fechamento dos estômatos. A maioria das metodologias de controle da variável acontece por meio da utilização de ventilação forçada (TERUEL, 2010). Fancelli e Dourado Neto (2000) apontam que processos como fotossíntese, respiração, transpiração e evaporação se relacionam à energia disponível no ambiente (KATSOULAS e KITTAS, 2011). Já o desenvolvimento e a translocação de fotoassimilados correlacionam-se à disponibilidade água no solo, sofrendo interferência das variáveis meteorológicas como a temperatura. Quando elevada, a temperatura influencia em uma maior taxa de evapotranspiração.

Além da influência de fatores como: a escolha do meio e os fatores ambientais, a cultura sofre influência do manejo de irrigação e tratos culturais, tais como: o manejo fitossanitário e de adubação. Nas culturas ornamentais os tratamentos fitossanitários são realizados muitas vezes com defensivos a base de produtos naturais e a adubação acontece por fertirrigação. O manejo de irrigação é limitante do desempenho da cultura, pois seu déficit ou excesso são influenciadores de mecanismos de proteção da cultura, como o fechamento dos estômatos em condições de escassez.

2.5 O MANEJO DE IRRIGAÇÃO

Além de influenciar na produção das culturas, a irrigação controlada atende a necessidade por qualidade do produto final, já que as espécies ornamentais são sensíveis ao déficit ou excesso hídrico (ALVARENGA, 2004). Considerada uma prática fundamental para a obtenção de produção eficiente, a irrigação é uma prática que proporciona a compreensão da relação de três sistemas que interagem entre si, o Sistema Água-Solo-Planta (SASP). A

compreensão dessa relação auxilia no manejo de irrigação, pois é necessário conhecer o comportamento da cultura e do meio (substrato/solo) do qual está inserida (MENEGAES, et al. 2017; PADRÓN, et al. 2015). Responsável pelo transporte de solutos, gases e reagentes metabólicos, essenciais para as atividades fisiológicas, a água colabora para o crescimento e desenvolvimento adequado das culturas (PEITER e CARLESSO, 1996). Grande parte da produção de espécies ornamentais acontece em ambiente protegido, sendo a irrigação, a única fonte de entrada do recurso hídrico no sistema de produção (GIRARDI et al. 2012; BERNARDO, 2006; BELLÉ, 2000).

A disponibilidade do recurso hídrico influencia na abertura e fechamento dos estômatos, expansão e turgescência e demais atividades metabólicas (TAIZ e ZAGER, 2006). Muitos estudos buscam delimitar a quantidade de água a ser utilizada, muitas vezes baseados na preservação de seu meio, porém no setor ornamental as pesquisas se direcionam na quantificação do recurso a fim de atingir um valor ideal para a cultura estudada, satisfazendo suas necessidades e garantindo a qualidade final do produto. A disponibilidade da água para a cultura depende do balanço hídrico (BH), este, relaciona o equilíbrio da demanda evapotranspirada (saída) e a disponibilidade do recurso para as raízes (entrada), quantificando o conteúdo de água armazenado. A delicada relação das culturas ornamentais com os limites hídricos exige uma metodologia eficiente de determinação dessa necessidade.

A irrigação deficiente pode ocasionar a redução do crescimento e desenvolvimento das culturas, porém, isso acontece conforme características como o genótipo da cultura e sua sensibilidade à duração e severidade do período de déficit hídrico. Outra característica que influencia as consequências da cultura ao déficit ou excesso hídrico é a fase em que a cultura se encontra, podendo ser maior ou menos a sensibilidade ao manejo de irrigação (AYRES & WESTCOT, 1999). Realizada por meio do solo, clima ou cultura, o manejo de irrigação pode ser realizado conforme as mais distintas metodologias, sendo que as metodologias mais precisas via solo/substrato utilizam ferramentas de monitoramento, algumas delas são: sensores de solo, tensiômetros ou sondas TDR (Time domain reflectometry). Algumas opções do monitoramento via clima pode ser realizado conforme medições da radiação solar (Rs) ou umidade relativa do ar (UR). Já o monitoramento via planta acontece conforme as respostas fisiológicas da cultura (JONES, 2004), este acontece através da medição direta ou indireta do estado hídrico da cultura. A estimativa da evapotranspiração real da cultura é uma ferramenta que auxilia no manejo de irrigação via cultura, compreendendo suas necessidades hídricas.

O principal objetivo da irrigação e seu monitoramento quando inserido no setor de horticultura ornamental está na preservação do aspecto visual, sendo este aspecto,

determinado pela qualidade do produtor final. Autores como Kaushal et al. e Girardi et al. (2018) apontam que o aspecto visual do produto final é preponderante, por isso existe a necessidade de respostas sobre a influência da disponibilidade hídrica e manejo de irrigação na qualidade das culturas. O consumo de água é influenciado pela disponibilidade do recurso no solo/substrato, demanda evaporativa da atmosfera, características morfofisiológicas da cultura e do seu estágio de crescimento/desenvolvimento. Além da preservação de aspectos visuais/qualidade e produtividade, a irrigação interfere nos aspectos fitossanitários, podendo auxiliar na prevenção de doenças, fungos ou patógenos nas culturas (NSW, 2009).

Com base nas necessidades singulares de cada cultura, é necessário um manejo de irrigação adequado, que atenda a essas características específicas para cada tipo de cultura em relação ao meio de desenvolvimento. O monitoramento da cultura e do ambiente exigem recursos e conhecimentos específicos para a realização de um manejo eficiente, dificultando muitas vezes a aquisição e manipulação por parte dos produtores. A determinação de metodologias que buscam atender a demanda dessas informações sobre manejo de irrigação com alcance aos produtores se torna uma necessidade. Portanto, são necessárias ferramentas usuais e operacionais para determinação do manejo correto e eficiente de irrigação, singulares conforme o tipo de cultura. A principal necessidade da incorporação de estudos sobre o manejo de irrigação das culturas é fazer com que os produtores incorporem na sua produção, metodologias eficientes e não baseadas em condições subjetivas que falham na demanda hídrica das culturas.

2.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração é a combinação de dois processos, o processo da evaporação de água da superfície do solo e/ou substrato e a perda pela transpiração da cultura, os quais são simultâneos e são difíceis de serem mensurados separadamente. Distintos modelos matemáticos de complexidades diferentes são desenvolvidos a fim de estimar a evapotranspiração da cultura (ETc), com sua determinação é possível executar o manejo de irrigação pela reposição do conteúdo perdido de água através da rega. A reposição de água pela rega é utilizada como foco em pesquisas como a dos autores: Costa (2014) e Girardi (2016).

Devido à dificuldade de determinação da ETc, pela exigência de experimentos físicos, recursos e tempo, são necessárias metodologias que possibilitem sua determinação de forma operacional e precisa, existem dois grupos, classificados como métodos de estimativa diretos

e indiretos. Allen et al. (1998) apontam serem necessários dispositivos específicos e medidas de vários parâmetros físicos como o balanço hídrico ou metodologia das pesagens para a medição da ETc. São vários os métodos de determinação e a sua escolha depende do clima, variáveis disponíveis e recursos. As variáveis meteorológicas interferem diretamente nas medidas da ETc, e a eficiência de determinação varia conforme o grau de exatidão dessas metodologias e o tipo de informações meteorológicas utilizadas.

2.6.1 Evapotranspiração Potencial (ETp)

A evapotranspiração potencial (ETp) é conceituada como a água utilizada pela superfície vegetada em crescimento e desenvolvimento, estando a vegetação suprida hidricamente e sem a ocorrência de déficit hídrico (PENMAN, 1956). O conceito de ETp foi introduzido, inicialmente, por C. W. Thornthwaite e H. G. Wilm (DE CAMARGO e DE CAMARGO, 2000) e posteriormente, utilizada na classificação climática por Thornthwaite, (1948). Denominada também como evapotranspiração máxima, a ETp é considerada a transferência de água do solo para a atmosfera por evaporação, e por transpiração, onde acontece a perda de água em qualquer fase fenológica da cultura e sem deficiência do recurso hídrico.

Para determinar a ETp existem diferentes metodologias, Doorenbos e Pruitt (1975) utilizam a metodologia baseada na multiplicação do coeficiente de cultivo (Kc) e evapotranspiração de referência (ETo), bastante usual pois varia conforme a cultura e ao estágio fenológico em que se encontra. Ao relacionar o Kc com a ETo, autores como Allen et al. (1998), determinam o resultado como a evapotranspiração da cultura (ETc) sob condição padrão de cultivo, ou seja, a evapotranspiração sob condição de uma cultura sadia. O termo sadia significa sob a condição da cultura livre de doenças e bem suprida nutricionalmente com uma demanda hídrica suficiente, alcançando seu potencial máximo para a condição de clima a que foi submetida.

2.6.2 Evapotranspiração Real (ETr)

A Evapotranspiração Real (ETr) é obtida através da medição dos componentes presentes no balanço hídrico (BH), realizado no solo ou por meio de contabilizações da água no sistema solo-planta-atmosfera. Para determinar o balanço hídrico, se fazem necessárias, medições, pois é preciso contabilizar as entradas e saídas de água em um volume conhecido.

A escolha do modelo de estimativa depende dos recursos disponíveis, da cultura instalada e principalmente o meio em que será inserido. Um dos modelos mais conhecidos e usuais foi proposto por Charles Warren Thornthwaite (1948) e modificado por John Russ Mather (1955), o modelo proposto pelos autores é utilizado para fins agroclimáticos e conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather. O BH relaciona as propriedades físico-hídricas do solo com componentes de entrada e saída da água, conforme Martins (2012) o principal objetivo da metodologia é determinar a existência ou não de déficit hídrico no sistema.

O método BH de Thornthwaite e Mather foi adaptado para a condição de ambiente protegido, considerando a irrigação (I) como a única forma de entrada de água. Os elementos de saída de água são: a evapotranspiração (ET) e a drenagem (D). O método considera uma determinada capacidade de armazenamento de água no substrato, sendo considerada máxima quando acontece a capacidade de retenção de vaso (CRV%) e nula quando a umidade se encontra no estado de ponto de murcha permanente (PMP). Com o BH é possível determinar a deficiência ou excedente hídrico (THORNTHWAITE, 1955).

Libardi (1995) sistematiza o balanço hídrico pela contabilidade das entradas e saídas de água em um período e volume conhecidos. O autor afirma que para mensurar as entradas e saídas do sistema, o volume deve englobar o sistema radicular da cultura, considerando um Limite Superior (LS) sendo este, a superfície de solo/substrato e Limite Inferior (LI), a profundidade do sistema radicular. A variação de água armazenada no perfil (Δh) é quantificada pela diferença entre as entradas e saídas ($\Delta h = Q_e - Q_s$) em um período conhecido ($t^2 - t^1$). É possível determinar o volume inicial de uma cultura envasada, considerado a massa inicial (M_i) desse volume e volume posterior ao acréscimo da lâmina de irrigação em um intervalo de tempo (Δt), a contabilização da massa final (M_i^{+1}), acrescentando a irrigação (I) no caso das culturas irrigadas em ambiente protegido. Na horticultura ornamental, as culturas são conduzidas em vasos ou canteiros que possibilitam esta metodologia de manejo, sendo necessária a determinação do volume de armazenamento do recurso hídrico.

2.7 MODELAGEM NA AGRICULTURA

Quando se busca por respostas para as relações da cultura com o meio, ocorre a utilização de ferramentas como os modelos de estimativas ou simulação que buscam por respostas da interação entre o solo, a planta e a atmosfera (BERGAMASCHI et al. 2007). Considerada uma ferramenta eficiente para a tomada de decisões, a modelagem é a alternativa para atender o pré-requisito das simulações, que é a facilidade, além disso, se tem a vantagem de economizar recursos e tempo. Com a modelagem é possível testar hipóteses ou avaliar impactos no crescimento e desenvolvimento das culturas sem executar experimentos no meio físico (DI PAOLA et al. 2015; PEITER, 1998). A necessidade de utilização de ferramentas para auxílio na produção aconteceu a partir de 1990 (Jones et al. 2004). Com diversas aplicações, a modelagem pode ser usada em distintos ambientes, podendo ser aplicada na pesquisa, ensino e extensão, podendo substituir ou se aliar a experimentos.

O grau de exatidão das respostas obtidas com a modelagem de dados varia de acordo com o detalhamento dos processos, podendo ser básicos ou complexos. Além dos processos citados, a modelagem também pode servir como uma ferramenta usual para a quantificação de fatores que interferem no crescimento e desenvolvimento das culturas. Lisson et al. (2005) aponta algumas possibilidades de aplicação da modelagem, tais como: tomada de decisão (planejamento da época de plantio/semeadura e colheita), previsão da produção (estudo da produção potencial variando o ambiente) e melhoria da eficiência do uso da água (estudo da produção potencial variando o manejo de irrigação).

A modelagem das culturas quando inserida no setor ornamental, possui um déficit de respostas, porém, alguns pesquisadores são encontradas, como Cave et al.; Vaid et al. (2013), Kim et al.; TA et al. (2011), Moccaldi et al. (2007), Lee et al. (2003), Skirvin et al. (2002), Yeh et al. (1999), Adams et al. (1997) e Brondum e Heins (1993). O setor ornamental é apontado como um setor amplo e diversificado devido às inúmeras culturas existentes no setor, que podem ser estudadas. Garcia (2005) aponta que os modelos servem para descrever a realidade e a escolha da metodologia de modelagem adequada é baseada na precisão desejada e disponibilidade de variáveis e de tempo para o processamento de dados.

A representação da realidade na modelagem acontece por meio de equações e o desenvolvimento dos modelos se dá por vários meios, sendo estes: meio teórico, empírico, por analogia ou pela combinação dessas formas (IRIGOYEN, 2010). Naylor et al. (1971), definem que para a utilidade do modelo, o mesmo deve atender dois requisitos: realismo e simplicidade. Para a modelagem de dados é necessário conhecimento base e considerações

sobre os processos biofísicos-chave para a cultura e interações com outros processos de produção. Um modelo pode ser descrito como uma caracterização de um sistema real, Soler (2004), afirma que os modelos de simulação do crescimento das culturas realizam estimativas por meio de componentes do crescimento e desenvolvimento da cultura, podendo estes serem: o índice de área foliar ou número de folhas, diâmetro de caule e raízes ou pelas hastes florais, para as espécies ornamentais.

Os modelos compreendem fases para sua utilização, a seleção dos parâmetros adotados que é a fundamentação do modelo é considerada a fase inicial, decisiva para a escolha da metodologia de modelagem adotada. Após a adoção dos parâmetros de entrada, é necessário escolher as equações de acordo com os dados disponíveis e assim executar as simulações a fim de calibrar o modelo. A calibração se faz necessária para que ocorra uma concordância entre os resultados do modelo e os resultados empíricos (PARIZI, 2010). De Witt (1978) distingue sistema (i), modelo (ii) e simulação (iii), sendo respectivamente: (i) componentes e suas inter relações, selecionando-os com base no objetivo de estudo a fim de estudar alguma parte do mundo real; (ii) representação matemática de um sistema ou processo, sendo a modelagem, seu meio de desenvolvimento e (iii) procedimentos necessários a fim de operacionalizar o modelo ou solução do modelo, simulando o que acontece no sistema.

As relações entre a produção de uma cultura e o clima estão vinculadas, De Witt (1958) forneceu evidências dessa relação ao relacionar a transpiração com a produção de culturas. Mais tarde, Doorenbos e Kassan (1979) substituíram a transpiração pela evapotranspiração, pois é esta variável que normalmente é determinada nos experimentos, por não considerar apenas a perda de água pelo solo e sim, considerar a perda de água pelo solo+planta. A previsão da produção de uma cultura é fundamental, podendo ser utilizada em diversas situações, essa previsão/estimativa pode ser obtida a partir de modelos de simulação (ANDRADE JÚNIOR et al. 2006). São ilimitadas as combinações que influenciam a produção e que podem ser utilizadas para obtenção de respostas (GOMES et al. 2014; VIVIAN et al. 2013). Modelos que estimem a produção considerando estratégias de irrigação são muito usuais, principalmente quando aplicados em espécies ornamentais que dependem da irrigação por serem produzidas exclusivamente em ambiente protegido.

Existem opções de modelos, podendo ser: físicos, conceituais e matemáticos. Os modelos matemáticos abordam componentes, variáveis, parâmetros e relações funcionais por meio de sua simplificação, adotando descrições construídas em linguagem matemática. Existe uma subdivisão dos modelos matemáticos em função da sua estrutura, distinguindo-os em:

mecanísticos, correlacionais/estatísticos e empíricos. Baier (1979) conceitua modelos empíricos-estatísticos como modelos baseados em séries históricas de dados. O autor aponta que os modelos empíricos-estatísticos servem para determinar o comportamento das culturas, tornando a resposta deste modelo dependente da validade dos dados.

Costa (1997) relata que os modelos mecanísticos tem como base um sistema real, procurando descrever o que acontece a partir de processos anteriores, as dificuldades estão nos dados de entrada para utilização do sistema. Costa & Barros (2001) contribuem com informações a respeito dos modelos empíricos, apontando que estes se baseiam na interação quantitativa entre os elementos, fundamentando-se em análises de regressão. Os modelos empíricos necessitam normalmente de um grande volume de dados de entrada, aliando este fator à restrição de compreensão do sistema em que é inserido, muitas vezes é limitada sua utilização.

Na modelagem de estimativa da produção de culturas podem-se simular distintos cenários de desenvolvimento e crescimento das culturas e distintas condições meteorológicas a fim de determinar a necessidade hídrica. Os modelos utilizados para obtenção de respostas sobre o manejo de irrigação com a produção são modelos de correlação, estes são pouco utilizados principalmente no setor da horticultura ornamental, pela particularidade das culturas, exigindo parâmetros calibrados para cada cultivar, correspondendo às suas necessidades hídricas perante suas fases fenológicas. A principal dificuldade encontrada na calibração está na inexistência de fases fenológicas definidas para a maioria das culturas, devido a gama de culturas existentes no setor.

2.7.1 Modelos de Correlação

Na modelagem existem funções que correlacionam determinados fenômenos ao longo do crescimento e desenvolvimento das culturas com sua produção, tais fenômenos como a evapotranspiração da cultura, transpiração ou o próprio volume de água aplicado. São chamadas de funções de produção água-cultura, tais funções que correlacionam aos modelos estes fenômenos, consideradas funcionais, por aliar dados experimentais com a simulação, aponta Robaina (1992). A principal característica dos modelos de correlação, principalmente quando se tem por finalidade o manejo de irrigação da cultura, está nas soluções que o modelo fornece, podendo solucionar problemas enfrentados como o uso da água e/ou fertilizantes, prevendo seu rendimento conforme a metodologia adotada (Frizzone, 1986).

A função de produção pode ser expressa de diferentes maneiras, pois a variável água-cultura pode ser representada pela evapotranspiração, transpiração ou pela lâmina de irrigação, sendo independente. É de extrema importância relacionar a água com a produção, nas situações de escassez, condições de intempéries climáticas, onde as condições pluviométricas não são suficientes ou em ambiente protegido. A variável independente da função dos modelos de correlação está ligada ao manejo de irrigação, ou seja, o fator água, tendo como finalidade respostas como a evapotranspiração, transpiração da cultura ou lâmina de água adequada. Já a variável dependente, ou seja, dependente da variável independente, está relacionada a produção agrícola, sendo esta, grãos, frutos e matéria seca ou verde.

Mais tarde, Frizzone et al. (2005), relatam a importância dos modelos de correlação à nível econômico, pois estes modelos de função de produção, determinam a eficiência do uso dos recursos disponíveis. A modelagem pode ser considerada uma situação de melhoramento na produção, onde a manipulação pelo homem, com utilização de dados da cultura, acarreta respostas sobre seu rendimento máximo, apenas com a aplicação de estratégias nas metodologias e adaptação de funções.

Os modelos agrometeorológicos permitem simular o crescimento e desenvolvimento de uma cultura relacionando variáveis climáticas, destacando esta ferramenta por sua utilidade, devido à exigência de poucos dados de entrada (BUSKE, 2017). Na modelagem agrometeorológica são estabelecidas relações entre os elementos do clima e respostas fisiológicas da cultura, representando de forma simples essas interações (FONSECA et al. 2006). A utilização do modelo de Jensen é destacada por utilizar a variação climática em suas previsões.

2.7.2 Parâmetros de Clima e Cultura

Os parâmetros da planta envolvem seu crescimento e desenvolvimento. Parizi (2010) relata que o crescimento é o aumento irreversível de tamanho devido à divisão celular e o desenvolvimento é apontado como as modificações ocorrentes na planta, podendo ser definido como diferenciação de fases. Nas interações do clima é de extrema importância o estudo de seu crescimento e desenvolvimento, pois esses processos se associam às condições abióticas e bióticas que lhe são impostas. Com a finalidade de utilização agrícola, a maioria dos modelos simula o crescimento das culturas, prevendo seu rendimento.

Existem diversos modelos para a estimativa de rendimento potencial das culturas, Buske (2017), apresenta a utilização do modelo de Wageningen (MWA) para prever o

rendimento na cultura do Milho, relatando a boa adaptação do modelo para previsão de rendimento. Martins (2012), também aponta desempenho satisfatório, quando usou o modelo MWA, indicando que o modelo correlaciona a taxa de crescimento e desenvolvimento da cultura com a taxa média de evapotranspiração potencial e com a média da demanda evaporativa da atmosfera (Δe - déficit de pressão de vapor de água: $e_s - e_a$). As funções que relacionam dados de clima e solo com a produção das culturas caracterizam modelos de produção água-cultura, conhecidas por equações de produção (ROBAINA, 1992). Analisar o crescimento e desenvolvimento é necessário a fim de conhecer a planta e adaptar um manejo eficiente a fim de explorar o seu potencial de produção e avaliar diferentes componentes que interferem na sua trajetória (ANDRADE et al. 2009).

Alguns índices como os morfofisiológicos nos auxiliam na compreensão do acúmulo de matéria seca nas plantas, índices como a taxa de crescimento e eficiência fotossintética da cultura, apontam. Com a interação do clima, a cultura desempenha processos vitais, tais como fotossíntese, respiração e evapotranspiração, aponta Fancelli & Dourado Neto (2000). Os processos que os autores apontam são formas diretas de energia disponível no meio, diretamente ligados à disponibilidade do recurso hídrico (PARIZI, 2010). Devem ser estudadas as respostas entre clima e planta para diminuir os riscos de uma baixa produção ou produção com má qualidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste tópico é descrito o modelo matemático utilizado para a simulação da evapotranspiração real (ETr) e produção real (Pr) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*, utilizando os dados obtidos em experimento conduzido em casa de vegetação. Na sequência é apresentado um layout para facilitar o discernimento ao leitor (Figura 1).

Figura 1 - Layout referente à organização do item materiais e métodos.

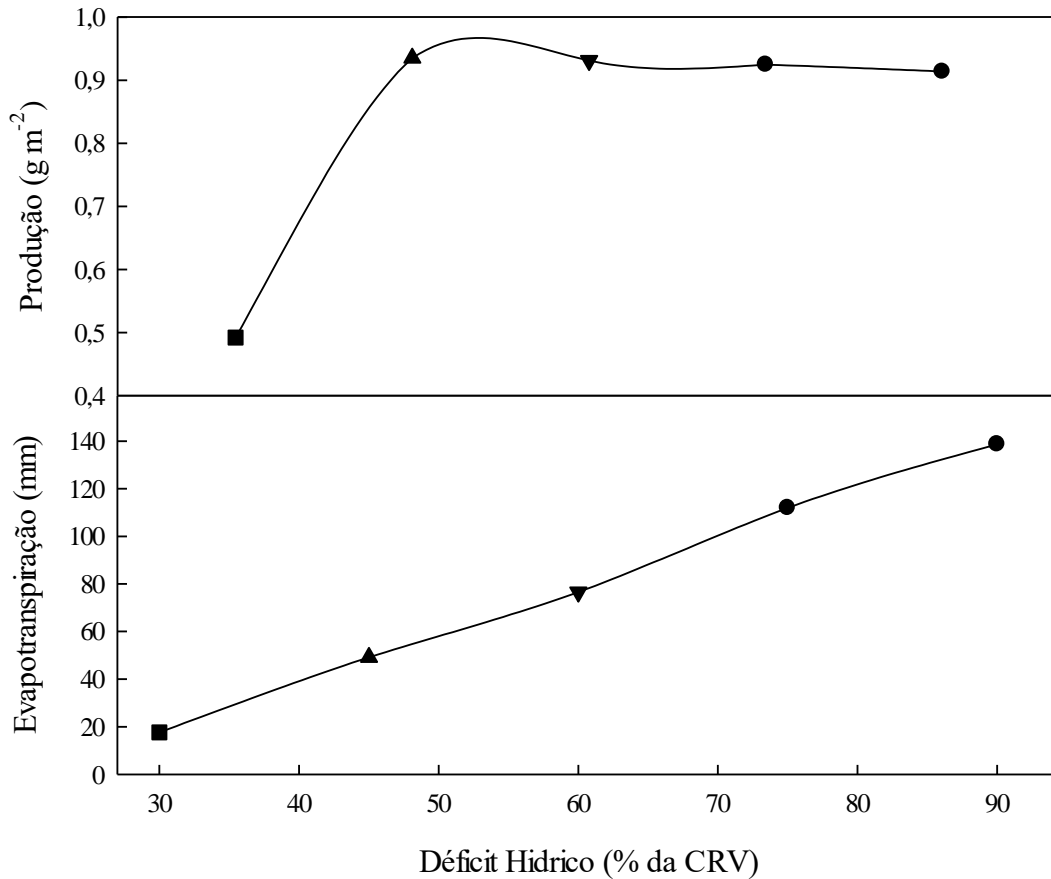


Fonte: A autora

3.1 DADOS DA CULTURA

Os dados utilizados para a calibração do modelo são referentes à cultura *Alstroemeria x hybrida*, variedade Firenze. Os dados de produção real observada (Pr-obs) e evapotranspiração real observada (ETr-obs) da cultura foram obtidos através de experimento realizado em casa de vegetação sob déficit hídrico seguindo distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30%) conforme a capacidade de retenção de vaso (CRV). A casa de vegetação está situada na região de Santa Maria-RS, sob as coordenadas geográficas: 29°42'25"S; 53°48'42" e altitude de 95 metros. Maiores detalhes sobre o experimento físico podem ser encontrados em Girardi (2016). A Figura 2 apresenta os valores referentes a produção real da cultura (Pr-obs) e evapotranspiração real (ETr-obs) quando submetida à déficits hídricos (% da CRV).

Figura 2 - Valores médios referentes às variáveis: produção real observada (Pr-obs) e evapotranspiração real observada (ETr-obs) para os distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30%) de déficit hídrico conforme capacidade de retenção de vaso (CRV), obtidos a partir do experimento conduzido em casa de vegetação.

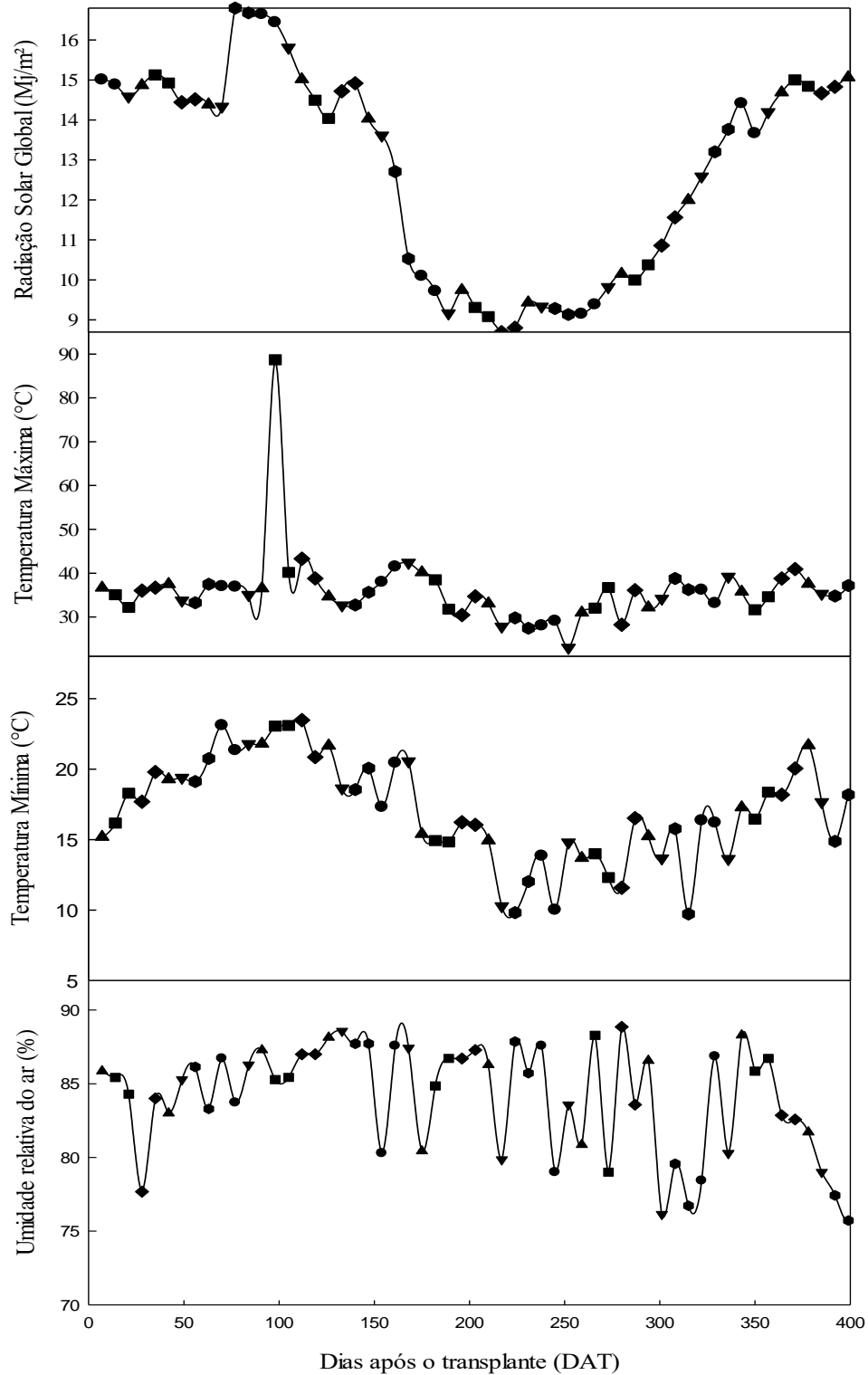


Fonte: Adaptado de Girardi (2016).

3.2 VARIÁVEIS AGROMETEOROLÓGICAS

Os dados referentes às variáveis agrometeorológicas foram coletados com o auxílio de um termo-higrômetro, localizado no interior da casa de vegetação onde o experimento físico foi desenvolvido. Os dados são referentes à temperatura mínima e máxima do ar (°C), radiação solar e umidade relativa do ar (%) (Figura 3).

Figura 3 - Variação média das variáveis meteorológicas: radiação solar (MJ/m^2), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%) ao longo do ciclo da cultura, definido em dias após o transplante (DAT).



Fonte: Adaptado de Girardi (2016).

3.3 PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA UTILIZAÇÃO DO MODELO

Para utilizar o modelo de produção potencial (Pp) da cultura foi necessário a determinação de alguns parâmetros, tais como a radiação solar fotossintética ativa (Ro), taxa de produção potencial em dias de céu claro (yc) e taxa de produção em dias nublados (yo). A determinação dos parâmetros ocorreu em função dos dias do ano (dias julianos). Os valores de Ro ($\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$), yc (g m^{-2}) e yo (g m^{-2}) definidos para a região de Santa Maria-RS ($-29,7^\circ$ de latitude sul, $-53,7^\circ$ de longitude) podem ser observados na Tabela 1.

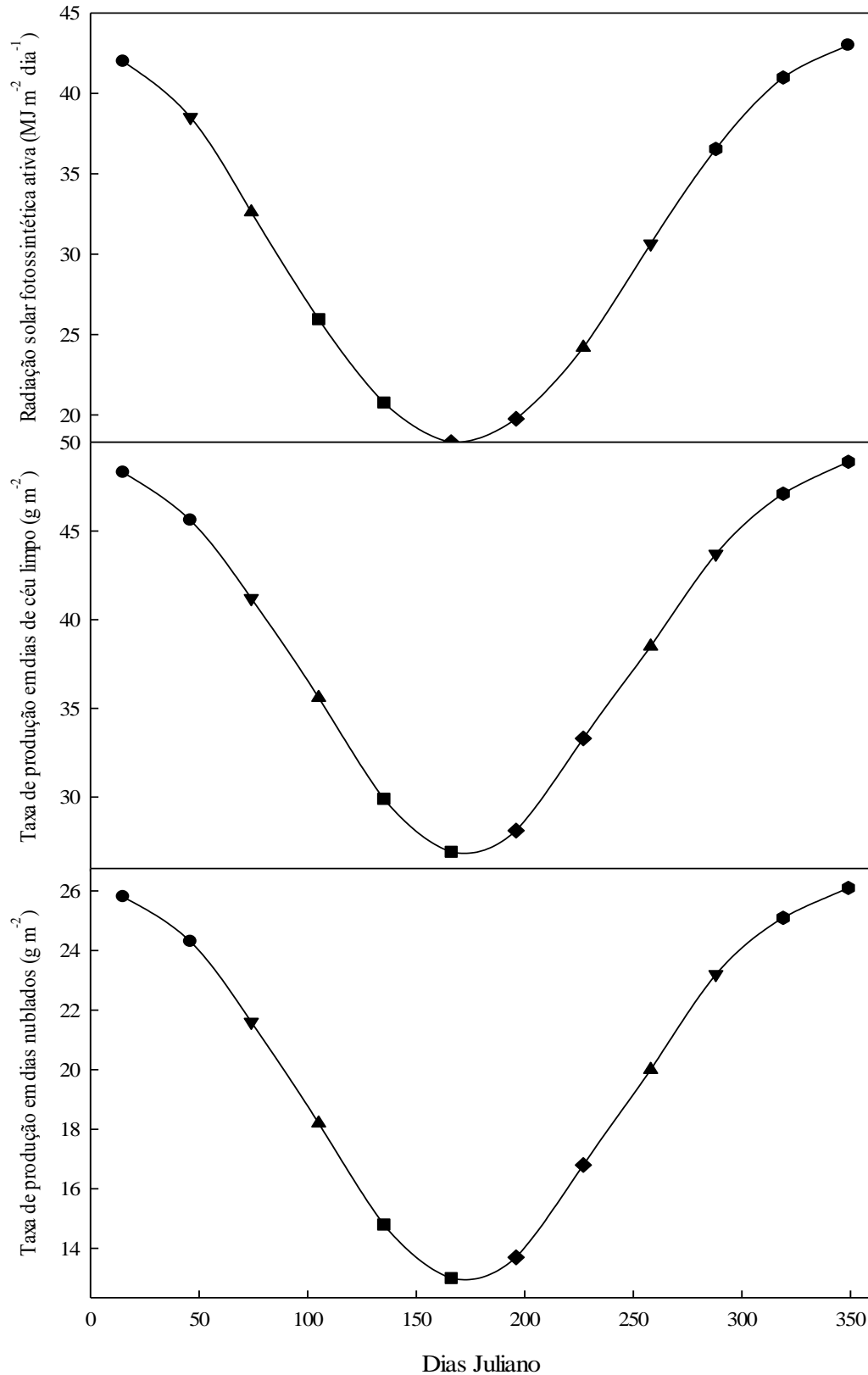
Tabela 1- Valores para os parâmetros: radiação solar fotossintética ativa (Ro em $\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$), taxa de produção potencial em dias de céu claro (yc em g m^{-2}) e taxa de produção potencial em dias nublados (yo em g m^{-2}), correspondentes ao 15° dia de cada mês do ano.

DIAS JULIANOS	Radiação Solar Fotossintética Ativa (Ro)	Taxa de produção potencial em dias de céu claro (yc)	Taxa de produção potencial em dias nublados (yo)
15	41,9	48,3	25,8
46	38,5	45,6	24,3
74	32,6	41,2	21,6
105	25,9	35,6	18,2
135	20,7	29,9	14,8
166	18,3	26,9	13,0
196	19,7	28,1	13,7
227	24,2	33,3	16,8
258	30,6	38,5	20,0
288	36,5	43,7	23,2
319	40,9	47,1	25,1
349	43,0	48,9	26,1

Fonte: Adaptado de Doorenbos & Kassam (1994).

Ao analisar a Tabela 1, observa-se que conforme a aproximação do meio do ano ocorre uma redução dos parâmetros que participam do modelo proposto que em seguida voltam a crescer. O comportamento apresentado ao longo dos dias se ajustou a uma equação senoidal, possibilitando o cálculo de qualquer um dos parâmetros em qualquer dia do ano. Na Figura 4 é demonstrado o ajustamento dos valores para os parâmetros (Ro, yc e yo) ao longo do tempo (dias juliano).

Figura 4 - Parâmetros (R_o , y_c e y_o) necessários para utilização do modelo agrometeorológico ao longo dos dias do ano (dias juliano) para a região de Santa Maria-RS.



Fonte: Adaptado de Doorenbos & Kassam (1994).

O ajustamento dos valores para radiação solar fotossintética ativa (R_o em $\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) ao longo do tempo ocorre sob a função senoidal do tipo: $R_o = a + b \cdot \sin(2\pi t / d + c)$, em que t é o dia do ano no calendário Juliano e os coeficientes a , b , c e d são: 30,189; 12,242; 1,702 e 356,197, respectivamente. A taxa de produção potencial diária em dias de céu claro (y_c em g m^{-2}) e a taxa de produção potencial diária em dias de céu nublado (y_o em g m^{-2}) também se ajustaram em uma função senoidal.

O ajuste para a taxa de produção em dias de céu claro (y_c) aconteceu conforme a função senoidal: $y_c = a + b \cdot \sin(2\pi t / d + c)$. Foram obtidos os coeficientes: $a = 379,781$, $b = 105,475$, $c = 1,439$ e $d = 332,526$. O ajuste para os valores da taxa de produção potencial diária em dias nublados (y_o) em função do tempo são apresentados pela função senoidal do tipo $y_o = a + b \cdot \sin(2\pi t / d + c)$. Os valores dos coeficientes foram de: $a = 195,97$, $b = 63,207$, $c = 1,410$ e $d = 329,404$. O coeficiente de determinação para os três parâmetros foi de 0,99.

3.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ET_p)

Foi considerado que a evapotranspiração máxima ou potencial (ET_p) acontece em função da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_{ct}). O K_{ct} é baseado na evapotranspiração estimada, sendo utilizado com o objetivo de realizar uma correção para o tipo de cultura (Equação 1). A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada com o método de Penman (1948) conforme Equação 2.

$$ET_p = ET_o \cdot K_{ct} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: ET_p é a evapotranspiração potencial (mm d^{-1}); ET_o : evapotranspiração de referência (mm d^{-1}) e K_{ct} é o coeficiente de cultura com base na evapotranspiração estimada.

$$ET_o = \frac{\frac{\Delta}{\bar{Y}} \cdot \frac{Q^*}{2,45} + E_a}{\frac{\Delta}{\bar{Y}} + 1} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Δ é a tangente a curva de saturação ($\text{hPa}^\circ\text{C}^{-1}$); \bar{Y} é a constante $0,66 \text{ hPa}^\circ\text{C}^{-1}$; Q^* é o balanço de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); E_a é o fator aerodinâmico da evapotranspiração (mm).

3.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ET_r)

A estimativa da evapotranspiração real (ET_r) foi realizada através da Equação 3.

$$ET_r = ET_p \cdot (K_s + K_{cb}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: ET_r é a evapotranspiração real da planta em vaso, em um intervalo de tempo ($\Delta t =$ sete dias); ET_p é a evapotranspiração potencial ou máxima da cultura; K_s é o coeficiente de redução por déficit hídrico, adimensional. K_{cb} é o coeficiente basal da cultura que reflete a transpiração, adimensional. Detalhes da metodologia podem ser vistos em Allen et al. (1998).

3.6 PRODUÇÃO

Robaina (1992) afirma que o modelo de produção pode ser separado em dois sub-modelos, sendo estes, o modelo que estima a produção potencial (P_p) e a produção real (P_r). Os modelos de produção potencial e real são transcritos na sequência.

3.6.1 Modelo de produção potencial (P_p)

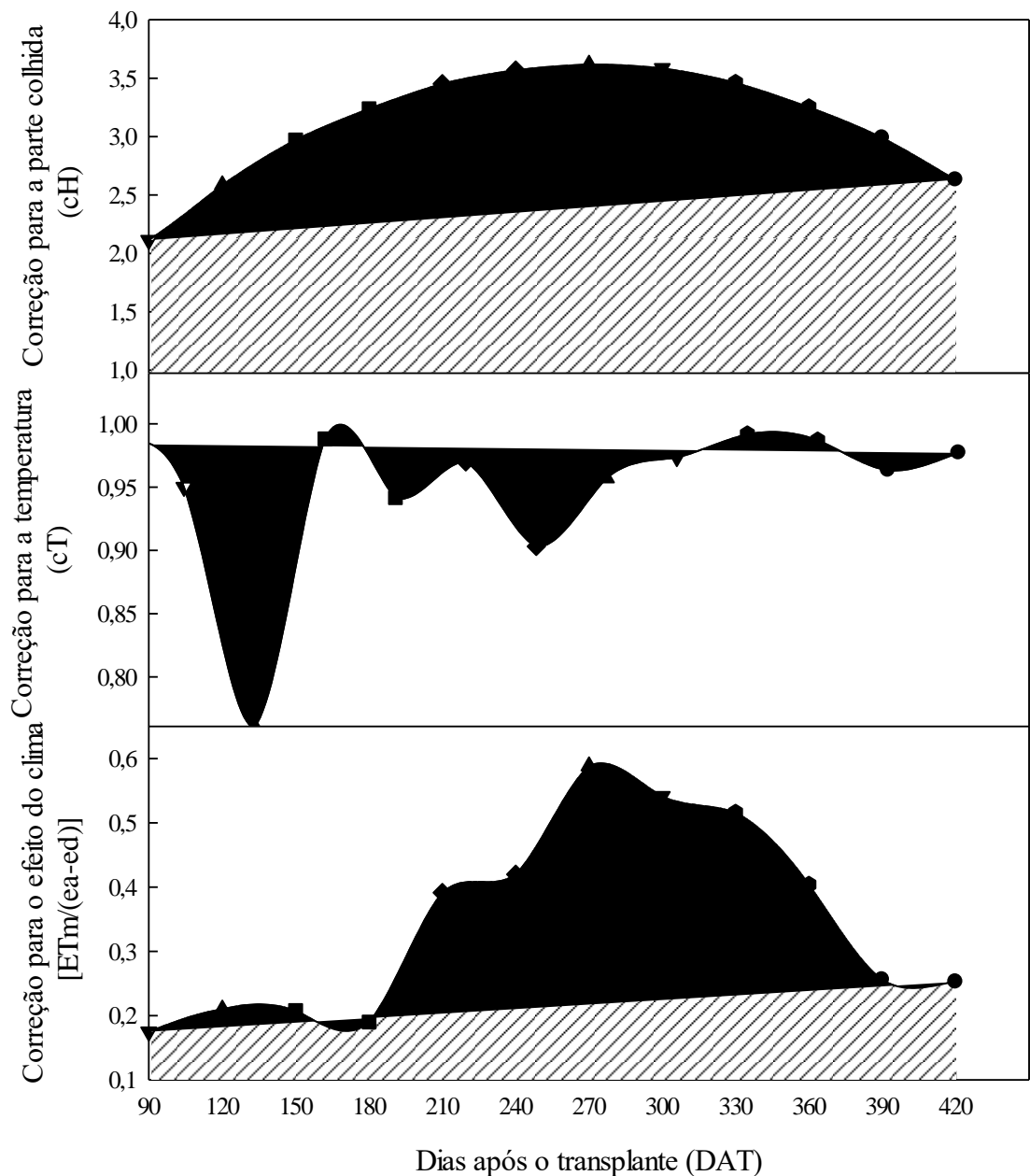
Sob condição de experimentos físicos, seja em campo ou em casas de vegetação, a produção potencial (g m^{-2}) pode ser calculada conforme Equação 4, que determina a produção potencial ou rendimento máximo (P_p).

$$P_p = K \cdot c_H \cdot c_T \cdot P \cdot Y_o \cdot \frac{ET_m}{ea - ed} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: P_p é a produção potencial da cultura ou rendimento potencial, definido em g m^{-2} ; K é a correção para o tipo de cultura, c_H é a correção para a parte colhida, c_T a correção para a temperatura, todos adimensionais. P refere-se ao período total do ciclo da cultura (0-420 dias após o transplante), Y_o a produtividade de matéria seca total da cultura padrão (g.m^2), $[ET_m / (ea-es)]$ é a correção para o efeito do clima.

Foi utilizado o método de Wageningen (MWa) para determinar a produção potencial, este método é recomendado pela FAO e citado em Doorenbos & Kassam (1979). O método determina que a Pp acontece em função de parâmetros que dependem do tipo de cultura e do clima, tais como: correções para o tipo de cultura (K), parte colhida (cH), temperatura (cT) e efeito do clima [$ETm/(ea-ed)$] (Figura 5).

Figura 5 - Valores médios para os fatores de correção para a parte colhida (cH), temperatura (cT) e efeito do clima [$ETm/(ea-ed)$] conforme dias após o transplante (DAT).



Bierhuizen e Slatyer (1965, citados por Doorenbos & Kassam, 1979) apontam que a correção para o efeito do clima [$ETm/(ea-ed)$] é feita devido a taxa de crescimento da cultura se relacionar com uma taxa média da evapotranspiração potencial (ETp), com a média do déficit de pressão de vapor d'água ($ea-ed$), e também, com a radiação solar (Rs), durante todo o ciclo da cultura. A produção potencial acumulada ($\Sigma Ppac$) no período de crescimento da cultura é determinada pela Equação 5.

$$\Sigma Ppac = \sum_1^n Pp \cdot \Delta t \quad (\text{Eq.5})$$

Onde: $\Sigma Ppac$ é o somatório da produção potencial acumulada, obtida em g m^{-2} , n é o período de dias até a colheita e Δt o período, considerado em dias após o transplante (DAT) da cultura.

O método para determinar a produção de matéria seca total da cultura padrão tem como base o nível de radiação de ondas curtas recebidas pela cultura em condição de não existência de déficit hídrico. Conforme Doorenbos & Kassam (1979) a produção de matéria seca total de uma cultura padrão (Y_o) é calculada utilizando a Equação 6 (DE WITT, 1965).

$$Y_o = F \cdot y_o + (1 - F) \cdot y_c \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde: Y_o é a produção de matéria seca total de uma cultura padrão em g m^{-2} ; F é a fração do dia em que o céu encontra-se nublado, adimensional; y_o é a taxa de produção de matéria seca bruta para uma localidade nublada e cultura padrão em g m^{-2} ; y_c é a taxa de produção de matéria seca bruta para uma localidade com céu limpo e para a cultura padrão em g m^{-2} .

O cálculo da fração do dia em que o céu se encontra nublado pode ser realizado conforme Equação 7, adaptado de De Wit (1965).

$$F = 1,25 \cdot \left(1 - \frac{Rs}{Rse}\right) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde: Rs é a radiação solar de onda incidente em $\text{MJ.m}^{-2} \text{d}^{-1}$ e Rse é a máxima radiação solar de onda curta em dias de céu limpo em $\text{MJ.m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

Foi utilizada a Equação 8, proposta por Dias & Kan (1999) para o cálculo da componente radiação solar de onda curta incidente (R_s).

$$R_s = R_s^{ea} \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde: R_s^{ea} é a radiação solar extra-atmosférica ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$); a e b são parâmetros estabelecidos para a latitude (adimensional); n é o número de horas de brilho do sol medido em um heliógrafo ao longo do dia; e N é a duração do dia em horas possíveis de insolação.

Os parâmetros a e b foram adotados com base na equação de Angstrom para a região de Santa Maria, conforme Estefanel et al. (1990). Os respectivos valores de n e N foram obtidos conforme a latitude do local. Os valores da radiação solar de onda curta ativa (R_{se}), taxa de matéria seca bruta para uma localidade a céu limpo (y_c) e taxa de produção de matéria seca bruta para uma localidade nublada e cultura padrão (y_o) acontece em função do local, considerando a latitude e os meses do ano em que se concentra o ciclo da cultura. Na Tabela 2 são apresentados valores para R_{se} em $\text{Mm}^{-2} \text{d}^{-1}$, y_c em g m^{-2} e y_o em g m^{-2} para a latitude de $30^\circ/\text{HS}$ (Hemisfério Sul).

Tabela 2 – Valores mensais da radiação solar de onda curta ativa (R_{se} em $\text{MJ.m}^{-2}\text{d}^{-1}$), taxa de matéria seca bruta para uma localidade a céu limpo (y_c em $\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$) e taxa de produção de matéria seca bruta para uma localidade nublada e cultura padrão (y_o em $\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Rse	41,9	38,5	32,6	25,9	20,7	18,3	19,7	24,2	30,6	36,5	40,9	43,0
Yc	48,3	45,6	41,2	35,6	29,9	26,9	28,1	33,3	38,5	43,7	47,1	48,9
Yo	25,8	24,3	21,6	18,2	14,8	13,0	13,7	16,8	20,0	23,2	25,1	26,1

Fonte: Adaptado de Doorenbos & Kassam (1994).

3.6.2 Modelo de produção real (Pr)

O modelo utilizado para realização das estimativas da produção real da cultura foi o modelo agrometeorológico de Jensen (1968), possuindo como variável independente, a evapotranspiração relativa da cultura (ETr/ETp) e tem como variável dependente a produção relativa (Pr/Pp), apresentado na Equação 9.

$$\frac{Pr}{Pp} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ETr}{ETp} \right)^{\lambda_i} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde: Pr refere-se à produção real da cultura, expresso em $g\ m^{-2}$, Pp é a produção potencial, expressa em $g\ m^{-2}$, ETr a evapotranspiração real, expressa em mm, ETp a evapotranspiração potencial, expressa em mm, λ_i o fator de penalização da produtividade por déficit hídrico, adimensional, i se refere às fases referentes ao ciclo fenológico da cultura e n , o número de estágios fenológicos da cultura. Na literatura, a relação entre ETr/ETp é apontada como a relação que descreve a necessidade de água, conhecida como o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA).

3.6.3 Determinação do fator de penalização da produtividade por déficit hídrico (λ_i)

O fator de penalização da produtividade por déficit hídrico (λ_i) varia de acordo com os estágios fenológicos da cultura. A determinação do fator λ_i ocorreu pelo ajustamento em análise de regressão múltipla, a partir das transformadas logarítmicas da equação que continham a produção relativo (Pr/Pp) e evapotranspiração relativa (ETr/ETp) utilizando o método dos mínimos quadrados múltiplos (MQM) (BUSKE, 2017; DE SOUZA et al. 2013; ARAÚJO et al. 2011; DE MELO et al. 2003; FONTANA et al. 2001). Os dados foram agrupados conforme a fenologia da cultura, apresentada por Girardi (2016) e adaptada para a modelagem em três estágios de crescimento.

Os estágios para a modelagem dos dados foram agrupados nas seguintes fases de crescimento e desenvolvimento vegetativo: fase inicial de crescimento e desenvolvimento, “ICD” de 0 a 150 dias após o transplante (DAT), fase de pleno crescimento e desenvolvimento “PCD” de 150 a 330 DAT e fase de queda no crescimento e desenvolvimento “QCD”, definida entre 330 a 420 DAT. A adaptação das fases para a

execução da modelagem foi necessária para a aplicação do modelo. A definição em três fases se assemelha a escolha de autores como Howell e Hiller (1975). Foram utilizados dados referentes aos déficits hídricos, dos quais a cultura foi submetida em experimento físico conduzido em casa de vegetação (GIRARDI, 2016). Os déficits hídricos foram de 90, 75, 60, 45 e 30% referentes à capacidade de retenção de vaso (CRV).

Ao utilizar os dados referentes aos déficits hídricos, obtivemos cinco pontos para posterior aplicação do sistema de equações do método MQM. Portanto, foi possível estimar a produção a partir do modelo de Jensen (1968) e capturar de uma forma global as informações contendo a relação dos déficits hídricos com a produtividade (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios para a produção relativa (Pr/Pp) e evapotranspiração relativa (ETr/ETp) conforme déficits hídricos (DH) e fases vegetativas (ICD, PCD, QCD).

DH (%CRV)	Produção relativa média (Pr/Pp)	Fases Vegetativas		
		ETr/ETp (ICD)	ETr/ETp (PCD)	ETr/ETp (QCD)
90	0,914	0,901	0,776	0,927
70	0,925	0,527	0,786	0,824
60	0,931	0,799	0,769	0,583
45	0,935	0,666	0,565	0,634
30	0,492	0,213	0,267	0,352

Onde: DH: déficits hídricos; CRV: capacidade de retenção de vaso; Pr/Pp: produção relativa em g.m²; ETr/ETp: evapotranspiração relativa em mm; ICD: fase inicial de crescimento e desenvolvimento; PCD: fase de pleno crescimento e desenvolvimento; QCD: fase de queda no florescimento. Fonte: A autora.

Foi realizado o cálculo da produção relativa média (Pr/Pp), levando em consideração os distintos percentuais de déficit hídrico, sendo estes: 90, 70, 60, 45 e 30% da capacidade de retenção de vaso (CRV). Também foi realizada a média da evapotranspiração relativa (ETr/ETp) para cada fase vegetativa, conforme o DH. Foi necessária a linearização do modelo através dos logaritmos naturais para realizar estimativas pelo método dos MQM. Os dados linearizados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios transformados para a produção relativa (Pr/Pp) e evapotranspiração relativa (ETr/ETp) conforme os déficits hídricos (DH) e fases vegetativas (ICD, PCD e QCD) para os distintos tratamentos (%CRV).

DH (% CRV)	Produção relativa média (Pr/Pp) ¹	Fases Vegetativas		
		ETr/ETp (ICD)	ETr/ETp (PCD)	ETr/ETp (QCD)
90	-0,090	-0,104	-0,254	-0,076
70	-0,078	-0,641	-0,241	-0,193
60	-0,071	-0,224	-0,262	-0,540
45	-0,067	-0,406	-0,571	-0,456
30	-0,709	-1,545	-1,322	-1,043

Onde: DH: déficits hídricos; CRV: capacidade de retenção de vaso em percentual (%); Pr/Pp: produção relativa em g/m²; ETr/ETp: evapotranspiração relativa em mm; ICD: fase inicial de crescimento e desenvolvimento; PCD: fase de pleno crescimento e desenvolvimento; QCD: fase de queda no florescimento. Fonte: A autora.

A Equação preliminar linearizada conforme o modelo de Jensen (1968) e adaptada conforme as fases fenológicas para a cultura da *Alstroemeria x hybrida* é expressa pela Equação 10, podendo então ser resolvida pelo método dos mínimos quadrados múltiplos (MQM).

$$\ln \frac{P_r \text{ méd}}{P_p \text{ méd}} = \lambda_{ICD} \ln \frac{ETr_{ICD}}{ETp_{ICD}} + \lambda_{PCD} \ln \frac{ETr_{PCD}}{ETp_{PCD}} + \lambda_{QCD} \ln \frac{ETr_{QCD}}{ETp_{QCD}} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde: \ln é o logaritmo natural; P_r é o rendimento real da cultura em g.m²; P_p é o rendimento potencial em g.m²; λ_{ICD} é o fator de penalização por déficit hídrico referente à fase de início do crescimento e desenvolvimento (ICD); λ_{PCD} é o fator de penalização por déficit hídrico referente à fase de pleno crescimento e desenvolvimento (PCD); λ_{QCD} é o fator de penalização por déficit hídrico referente à fase de queda no crescimento e desenvolvimento (QCD); ETr é a evapotranspiração real da cultura em mm; ETp é a evapotranspiração potencial da cultura em mm.

A precisão da estimativa do modelo agrometeorológico de Jensen (1968) foi determinada a partir da análise de regressão linear e correlação entre o valor da produção real observada (Pr-obs) e estimada (Pr) com a utilização dos fatores de penalização por déficit hídrico (λ) conforme fenologia da cultura. Também foi feita a análise de regressão linear entre os dados referentes à evapotranspiração real da cultura, observada (ETr-obs) e estimada

¹ Os valores da produtividade relativa correspondem a transformação através de logaritmos naturais ($\ln(Y_r/Y_p)$). O mesmo método foi utilizado para os valores da evapotranspiração relativa ($\ln(ETr/ETp)$).

(ETr). Os dados observados foram adquiridos conforme experimento realizado em casa de vegetação (GIRARDI, 2016) e os dados estimados, foram modelados conforme as metodologias transcritas no presente trabalho.

3.7 AVALIAÇÕES ESTATÍSTICAS

A exatidão foi determinada pelo índice de concordância (I_c) proposto por Willmott et al. (1985), onde seus valores variam de zero a um. O valor de zero é interpretado como se os dados não tivessem nenhuma concordância e um como concordância perfeita entre os dados. I_c pode ser calculado pela Equação 11 e interpretado conforme as classes apresentadas na Tabela 3.

$$I_c = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n ((E_i - \bar{E}) + (O_i - \bar{O}))^2} \right] \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde: E_i são os valores estimados, O_i são os valores observados, \bar{E} a média dos valores estimados e \bar{O} a média dos valores observados.

Tabela 5 – Valores do Índice de concordância (I_c) e sua respectiva classificação.

Índice de Concordância (I_c)	Classificação
0,95 – 1,00	Excelente
0,89 – 0,95	Ótimo
0,84 – 0,89	Muito Bom
0,77 – 0,84	Bom
0,71 – 0,77	Moderadamente bom
0,63 – 0,71	Moderado
0,55 – 0,63	Moderadamente ruim
0,45 – 0,55	Ruim
0,32 – 0,45	Muito Ruim
0,00 – 0,32	Péssimo

Fonte: PIMENTA, 2018.

O índice de precisão (I_p) é uma adaptação do Coeficiente de Correlação de Pearson que quantifica o grau de associação entre variáveis (LIRA; NETO, 2006). Os valores para o índice “ I_p ” variam de 1 a -1 sendo que quanto maior sua aproximação do valor um, maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. O I_p pode ser estimado pela Equação 12 e a interpretação de suas classes pode ser observada na Tabela 6.

$$I_p = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \underline{E}) \cdot (O_i - \underline{O})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (E_i - \underline{E})^2] [\sum_{i=1}^n (O_i - \underline{O})^2]}} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde: E_i são os valores estimados, O_i são os valores observados, \underline{E} a média dos valores estimados e \underline{O} a média dos valores observados.

Tabela 6 – Valores do índice de precisão (I_p) e suas respectivas classificações.

Índice de Precisão (I_p)	Classificação
0,95 – 1,00	Excelente
0,89 – 0,95	Ótimo
0,84 – 0,89	Muito Bom
0,77 – 0,84	Bom
0,71 – 0,77	Moderadamente Bom
0,63 – 0,71	Moderado
0,55 – 0,63	Moderadamente Ruim
0,45 – 0,55	Ruim
0,32 – 0,45	Muito Ruim
0,00 – 0,32	Péssimo

Fonte: PIMENTA, 2018.

Índice de Desempenho (I_d) – O valor referente ao “ I_d ” é o produto do índice de precisão (I_p) e do índice de concordância (I_c), adaptado de Camargo e Sentelhas (1997). O índice avalia o desempenho do modelo utilizado, sua obtenção é demonstrada pela Equação 13.

$$I_d = I_p \cdot I_c \quad (\text{Eq. 13})$$

Os valores das classes de interpretação para o índice de desempenho “ I_d ” e suas respectivas classes podem ser observados na Tabela 7. Conforme Pimenta (2018) é possível observar um intervalo curto entre as classes, a autora aponta a necessidade da redução desses valores, a fim de incrementar a precisão dos índices.

Tabela 7 – Valores para o índice de desempenho (Id) e suas respectivas classes.

Índice de Desempenho (Id)	Classificação
0,90 – 1,00	Excelente
0,80 – 0,90	Ótimo
0,70 – 0,80	Muito Bom
0,60 – 0,70	Bom
0,50 – 0,60	Moderadamente Bom
0,40 – 0,50	Moderado
0,30 – 0,40	Moderadamente Ruim
0,20 – 0,30	Ruim
0,10 – 0,20	Muito Ruim
0,00 – 0,10	Péssimo

Fonte: PIMENTA, 2018.

Erro Relativo (ER) – autores como Samadianfard (2012) utilizam este parâmetro para avaliação de modelos de estimativa, a fim de verificar sua precisão. O ER% é expresso pela Equação 14. Para o estudo foi utilizada a média dos valores do erro relativo (MER). A classificação da MER pode ser observada na Tabela 8.

$$ER = \left[\frac{|O_i - E_i|}{O_i} \right] \cdot 100 \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde E_i são os valores estimados, O_i são os valores observados.

Tabela 8 – Valores da média do erro relativo (MER) e sua respectiva classificação.

Média do Erro Relativo (%)	Classificação
$\leq 0,55$	Perfeito
0,56 – 1,00	Bom
1,10 – 2,00	Regular
2,10 – 3,00	Fraco
$>3,00$	Péssimo

Fonte: PIMENTA, 2018.

Autores como Piccini et al. (1990), Frizzone et al. (2005), Martins e Ortolani (2006), Souza et al. (2013), Silva et al.; Buske (2017) e Gollo et al. (2019) fundamentam a utilização dos índices propostos na validação do modelo de estimativa da produção e evapotranspiração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência são apresentados os resultados e suas respectivas análises obtidas ao avaliar o modelo de estimativa da evapotranspiração real (ETr) e produção real (Pr) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*. Os resultados seguem a sequência utilizada conforme a modelagem dos dados, representada na Figura 6 pelo layout de organização.

Figura 6 - Layout referente à organização dos resultados e discussão.



Fonte: A autora.

4.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL E REAL (ETp e ETr)

Foi avaliado o comportamento da única variável independente do modelo, o consumo relativo de água (ETr/ETp), analisado conforme os dias após o transplante (DAT) da cultura da *Alstroemeria*. Com a finalidade de analisar individualmente o comportamento da evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração potencial (ETp) foi realizada uma correlação desses valores dessas variáveis ao longo dos DAT.

O comportamento foi analisado separadamente conforme os percentuais (90, 75, 60, 45 e 30%) da capacidade de retenção de vaso (CRV), dos quais a cultura foi submetida em experimento real realizado em casa de vegetação. Os maiores valores para as variáveis ETr e ETp aconteceram no período de 150 a 330 DAT, correspondendo às fases de pleno

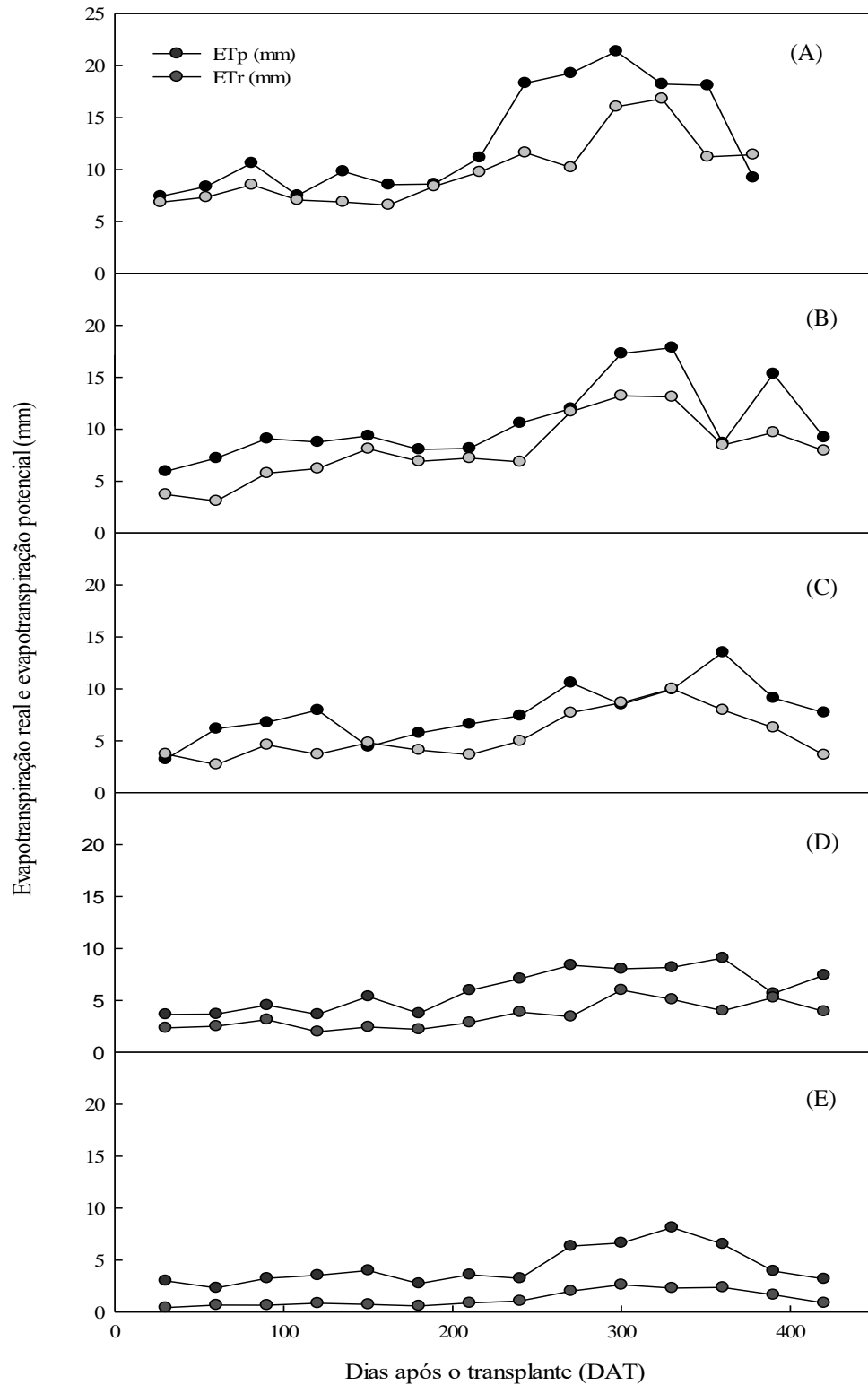
crescimento e desenvolvimento (PCD, dos 150 a 240 DAT) e de queda no crescimento e desenvolvimento (QCD, dos 240 a 330 DAT). A menor amplitude de valores para a ETr e ETp ocorreu no período de 0 à 150 DAT, correspondente a fase de início do crescimento e desenvolvimento da cultura (ICD).

Devido à preferência da cultura por ambientes úmidos, ocorreu um aumento da demanda evaporativa nos meses com temperatura mais elevada. O período de temperatura mais elevada corresponde às fases ICD e PCD (150 a 330 DAT). O período de florescimento é considerado o período mais sensível ao déficit hídrico e com maior demanda evapotranspirativa (MARTINS et al. 2006; MATZENAUER et al. 1995; BARNI, 1996; BERLATO, 1987; HOWELL & HILLER, 1975; LEWIS et al. 1974; SHIPLEY & REGIER, 1970).

Os valores de ETr e ETp se associam as variáveis meteorológicas no interior da casa de vegetação, tais como: temperatura, radiação solar e umidade relativa do ar (Figura 3). Temperaturas mais baixas e umidade relativa alta se relacionam com valores mais baixos das variáveis ETp e ETr. A cultura nas condições ideais de temperatura, na faixa de 10 a 13°C conforme Oldoni (2012) e Labeke (1993) evapotranspiram menos, consumindo uma menor quantidade do recurso hídrico e produzindo uma maior quantidade de hastes florais, aumentando seu potencial produtivo. Porém o comportamento apresentado pela *Alstroemeria* foi diferente ao apontado pelos autores, pois quanto maior foi a evapotranspiração real da cultura, maior foi a produção real, apresentando uma relação linear entre as variáveis.

Os valores de ETp mantiveram-se sempre superiores em relação aos valores de ETr, essa característica era esperada, pois a condição de ETp simula condições de não existência de déficit hídrico. O potencial produtivo das culturas é influenciado pelo consumo hídrico, este comportamento se assemelha ao encontrado por Figueirêdo et al. (2009). A Figura 7 apresenta o comportamento da evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração potencial (ETp) para o ciclo de cultivo da cultura da *Alstroemeria x hybrida*. Howel & Hiller (1975) também encontraram comportamento semelhante ao utilizar o modelo de Jensen para prever o rendimento para a cultura do sorgo.

Figura 7 - Comportamento da evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração potencial (ETp) ao longo dos dias após transplante (DAT) para os percentuais de 90 (A), 75 (B), 60 (C), 45 (D) e 30% (E) da capacidade de retenção de vaso (CRV) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*.



4.2 PRODUÇÃO POTENCIAL E REAL (Pp e Pr)

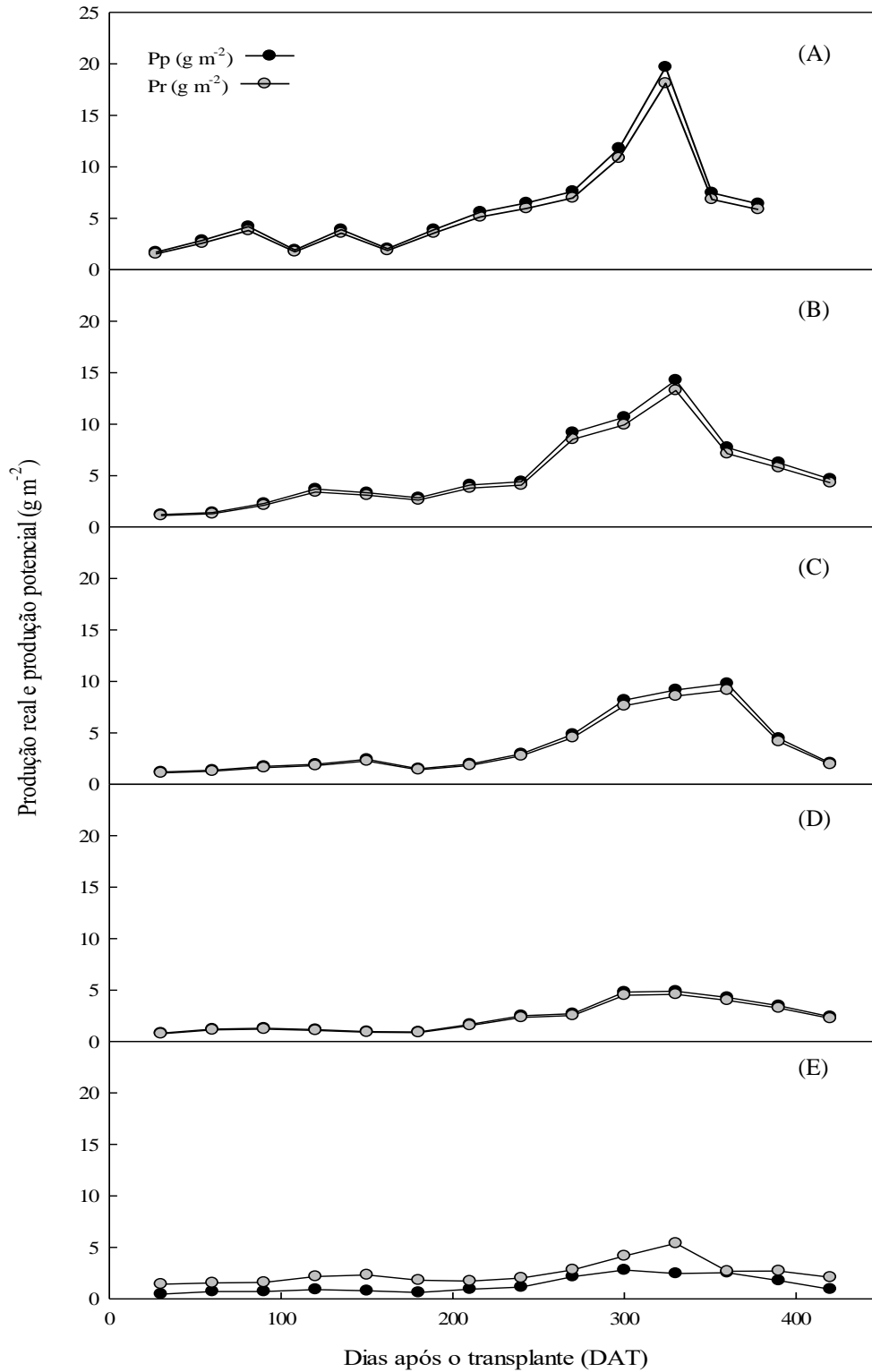
Os menores valores encontrados para a produção potencial (Pp) e produção real (Pr) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida* foram encontrados para a fase de início do crescimento e desenvolvimento da cultura (ICD), sendo esta, a fase vegetativa correspondendo ao período de 0 a 30 DAT. Logo, os maiores valores para as variáveis foram encontrados na fase de queda no crescimento e desenvolvimento (QCD), correspondendo dos 330 aos 420 DAT, fase caracterizada pela produção total da cultura e início do processo de senescência das flores.

Em relação aos percentuais hídricos, dos quais a cultura foi submetida, os maiores valores para Pp e Pr foram obtidos nos tratamentos com maior percentual de capacidade de retenção de vaso (CRV), estes tratamentos representam 75 e 90% da CRV. O comportamento obtido demonstra a relação linear entre a produção da cultura e seu consumo hídrico. Barni et al. (1996) relata que é possível determinar o rendimento de culturas ornamentais utilizando o modelo de Jensen (1968), ao estimarem a produção real (Pr) para a cultura do girassol.

Howell & Hiller (1975) ao estudarem o comportamento da produção para a cultura do sorgo relatam que o comportamento da cultura, não se correlaciona linearmente à evapotranspiração. O comportamento encontrado pelos autores contradiz o comportamento encontrado para a cultura da *Alstroemeria*, não podendo generalizar a afirmação de que com o acréscimo da disponibilidade de água acontece um incremento na produção, apesar de ser exemplificada uma espécie não ornamental.

Autores como Stewart & Hagan (1974) e Hanks & Hill (1980) também encontraram relações lineares ao estudarem a relação da produção com a evapotranspiração de culturas, que corrobora com o presente estudo. O comportamento linear da relação da produção potencial e real com os percentuais da CRV dos quais a cultura foi submetida podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 - Comportamento da produção real (Pr) e produção potencial (Pp) ao longo dos dias após transplante (DAT) para os percentuais de 90 (A), 75 (B), 60 (C), 45 (D) e 30% (E) referentes à capacidade de retenção de vaso (CRV) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*.



Fonte: A autora.

4.3 COEFICIENTE DE PENALIZAÇÃO POR DÉFICIT HÍDRICO (λ_i)

Com a utilização do pacote estatístico SigmaPlot 12.5, foi possível obter os seguintes resultados para os fatores de penalização por déficit hídrico (λ_i) conforme a fenologia da cultura da *Alstroemeria hybrida*, para posteriormente serem utilizados no modelo de Jensen (1968). Os resultados para os fatores são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores estimados para os coeficientes de penalização por déficit hídrico (λ_i) para as respectivas fases fenológicas (i) da cultura da *Alstroemeria x hybrida*, calibrados para a região de Santa Maria-RS.

	Fases	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	Valor-P
λ_{ICD}	ICD*	0,2067	0,2964	0,6974	0,5577
λ_{PCD}	PCD*	0,3197	0,4758	0,6719	0,5709
λ_{QCD}	QCD*	-0,1124	0,4047	-0,2778	0,8072
Estatística de regressão	R múltiplo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão	Observações
	0,960	0,922	0,344	0,143	5

Onde: ICD*: fase inicial de crescimento e desenvolvimento; PCD*: fase de pleno crescimento e desenvolvimento; QCD*: fase de queda no crescimento e desenvolvimento. Fonte: A autora.

A partir da Tabela 9, pode-se notar os valores das estatísticas de teste t que são a base para o cálculo dos valores de p (probabilidade). Na prática científica e de engenharia existe atualmente o conceito generalizado de que, ao fazer-se o uso dos procedimentos estatísticos creditasse importância primária aos resultados dos chamados p -valor. Tal difusão se deu depois do celebre tratado de R. A. Fisher no seu livro *Statistical Methods For Research Workers* (FISHER, 1925). Analisando os p -valores da tabela foi observado que ambos estão muito acima do nível de significância estipulado na análise de regressão ($\alpha = 0,05$). A prática comum, com base nos postulados da pura estatística, é aceitar que não há evidência estatística para rejeitar a hipótese nula (de que os coeficientes são estatisticamente diferentes de zero). Por outro lado, conforme relatado por Rothman (1990), Ferreira & Patino (2015), Woolston (2015), Concato & Hartigan (2016) e muitos outros, o uso de valores de probabilidades (p -valor) devem ser encarados com cautela e, em alguns casos, como apenas uma ferramenta de apoio ao trabalho empírico e conforme afirma Gerst (2006), no caso de um resultado não significativo, a validade da hipótese nula ainda pode ser altamente questionável.

Os resultados apresentados na Tabela 9 podem ser questionáveis dado que o número das amostras usadas na análise de regressão ($N = 5$) pode afetar significativamente o p -valor. Isto porque aumentar o tamanho da amostra, o que tenderá a resultar em um valor P menor

somente se a hipótese nula for falsa, que é o ponto em questão. Além do mais, o ponto principal de p -valor um é expressar a força da evidência contra a hipótese nula de maneira uniforme, que considera o tamanho da amostra, a quantidade de ruído nas medições e outros aspectos da situação. Existem outras abordagens para expressar a força da evidência, e uma delas, a abordagem Bayesiana por exemplo. Ao analisar a produtividade de acordo com as fases fenológicas da cultura foi observado que a fase de queda no crescimento e desenvolvimento (QCD) é criticamente afetada pelo déficit hídrico do qual foi submetida à cultura. O valor negativo do coeficiente de penalização hídrica demonstra a sensibilidade e sugere que o manejo hídrico utilizado foi inadequado para essa fase QCD da cultura (330 a 420 DAT), afetando sua produtividade.

O maior valor para o fator de penalização por déficit hídrico foi encontrado na fase de pleno crescimento e desenvolvimento, “PCD” dos 150 aos 330 DAT. O valor elevado (0,3197) para o fator de penalização corrobora com a afirmação de autores como Martins et al. (2006), Matzenauer et al. (1995), Barni (1996) entre outros, de que a fase de florescimento é a mais sensível ao déficit hídrico.

Existe uma relação linear entre a disponibilidade hídrica e rendimento (Figura 8), pois quanto mais elevada, maior é o rendimento da cultura. RAO et al. (1988) aponta que o modelo de Jensen (1968) é aplicável a uma gama de condições de estresse hídrico. Autores ao utilizarem Jensen (1968) apontam a eficácia do modelo devido à utilização dos fatores de penalização por déficit hídrico, considerando o efeito do ambiente nas respostas fisiológicas das culturas (ARAUJO et al. 2011; SANTOS et al. 2006; FONTANA et al. 2005; SILVA et al. 1987; RAO, 1985; HILL et al. 1983).

Howel & Hiller (1975) mostraram que o modelo de rendimento desenvolvido por Jensen (1968) obteve grande êxito nos ajustes para a previsão do rendimento do sorgo comparado com outros modelos de estimativa do rendimento para a cultura. Os autores demonstraram que o modelo de Jensen ofereceu o melhor desempenho quando foram aplicados dados dentro de uma margem de dez pontos percentuais para mais ou para menos. Os resultados podem ser utilizados para ajustar posteriores modelos, a fim de aperfeiçoar o manejo de irrigação de culturas.

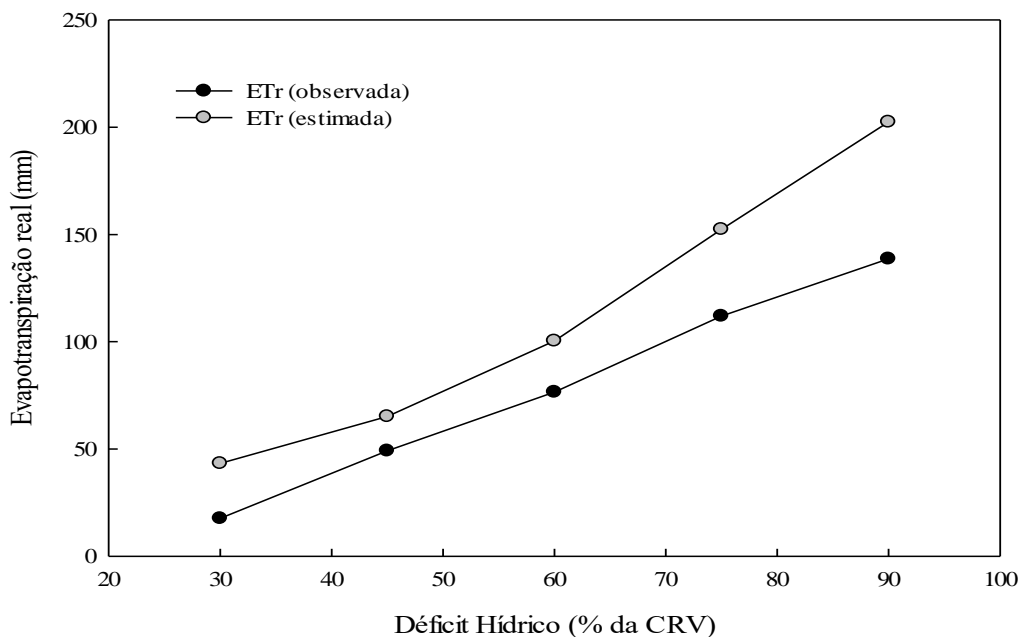
4.4 VALIDAÇÃO DO MODELO

Neste tópico é apresentado os resultados referentes a validação do modelo de estimativa da produção real (Pr) e evapotranspiração real (ETr) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*.

4.4.1 Validação da Evapotranspiração Real (ETr)

A Figura 9 apresenta a relação entre os dados utilizados para a validação da estimativa da evapotranspiração real da cultura (ETr). Os dados utilizados para a validação da estimativa foram referente à evapotranspiração real observada (ETr-obs), esses dados foram adquiridos conforme o experimento realizado em casa de vegetação, denominado como experimento real. Os dados de ETr são referentes às disponibilidades hídricas de 90, 75, 60, 45 e 30% da capacidade de retenção de vaso (CRV) dos quais a cultura da *Alstroemeria x hybrida* foi submetida. Os dados estimados de ETr foram relacionados com os dados observados para poder realizar uma análise comparativa da relação desta variável estimada.

Figura 9 - Valores médios para a evapotranspiração real (ETr) observada e estimada conforme os percentuais (90, 75, 60, 45 e 30%) da capacidade de retenção de vaso (CRV) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*.



Fonte: A autora.

Para a verificação da estimativa da evapotranspiração real da cultura (ET_r) utilizando o modelo proposto, foram utilizados os índices de concordância (I_c), precisão (I_p) e desempenho (I_d), também utilizados na validação para o rendimento real da cultura (Y_r). Os resultados obtidos com os índices utilizados, juntamente com seu desempenho podem ser observados na Tabela 10.

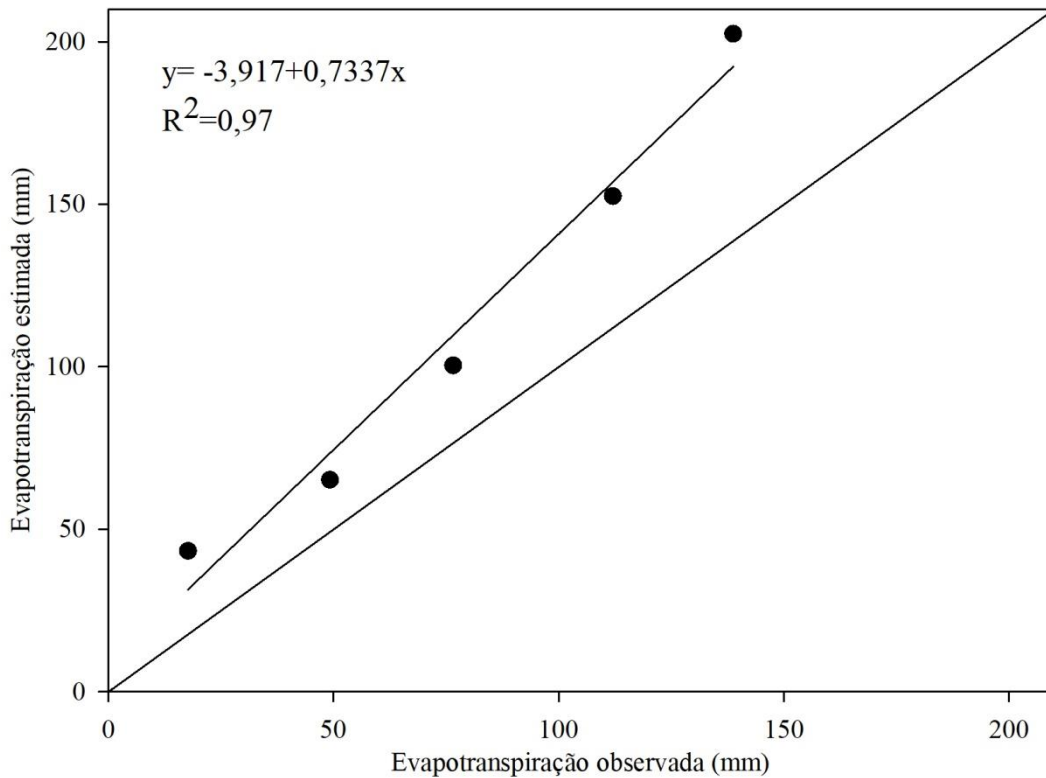
Tabela 10 - Valores dos índices de concordância (I_c), de precisão (I_p) e desempenho (I_d) para a estimativa da evapotranspiração real da cultura (ET_r) e seus respectivos desempenhos.

	“I_c”	“I_p”	“I_d”
Valor	0,859	0,662	0,569
Desempenho	Muito Bom	Moderado	Moderadamente Bom

Fonte: A autora.

Na estimativa da ET_r o modelo obteve desempenho muito bom conforme o índice de concordância (I_c) apresentando o valor de 0,859. A precisão do modelo medida pelo índice de precisão (I_p) foi classificada como moderada, com o valor de 0,662. O valor do índice de desempenho (I_d) do modelo na estimativa da ET_r foi de 0,569 classificado como moderadamente bom. O comportamento dos dados da evapotranspiração real da cultura (ET_r) sobre a reta 1:1 pode ser observado na Figura 8. Ao relacionar os dados de ET_r observados e estimados observamos mostra uma pequena variação em torno da reta 1:1.

Figura 10 - Comportamento da evapotranspiração real (ETr em mm) observada e estimada para a cultura da *Alstroemeria x hybrida* para os distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30) da capacidade de retenção de vaso.



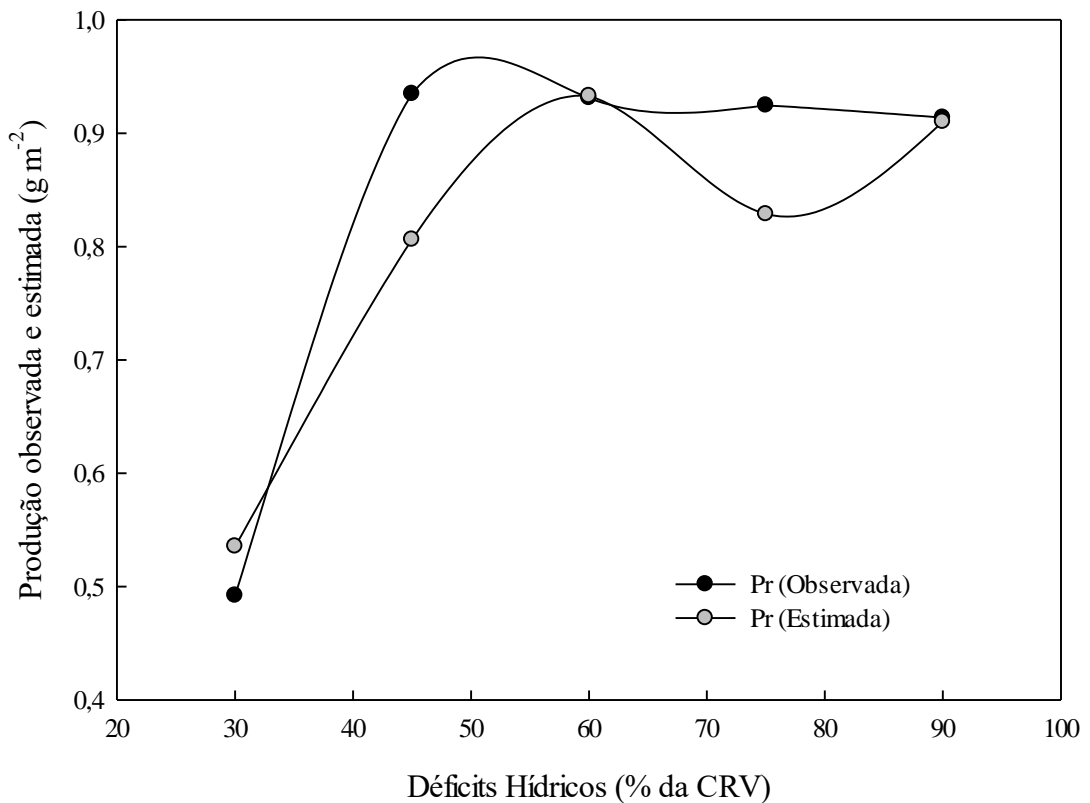
Fonte: A autora.

Os dados referentes à ETr se ajustaram a uma equação linear, cujo valor do r^2 foi de 0,97. A equação ajustada aos dados foi: $y = -3,917 + 0,7337x$. É constatado que 97% da estimativa dos dados de evapotranspiração real observada e estimada para a cultura da *Alstroemeria x hybrida* se correlacionam linearmente.

4.4.2 Validação da Produção Real (Pr)

Uma vez estimado os parâmetros do modelo, pode-se medir o ajuste entre a produção real observada (Pr-obs) e estimada pelo modelo (Pr). Os dados utilizados para a validação do modelo podem ser observados na Figura 11. Na sequência são apresentados os resultados dos índices utilizados na estatística do modelo (Tabela 11).

Figura 11 - Valores médios da produção real (Pr) observada e estimada para a cultura da *Alstoemeria x hybrida* para os distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30) da capacidade de retenção de vaso (CRV).



Fonte: A autora.

Na Figura 11 é demonstrado que os valores para a produção real estimada (Pr-est) são geralmente inferiores aos valores da produção real observada (Pr-obs). Foram encontrados os mesmos valores para os percentuais de 60 e 90% da capacidade de retenção de vaso (CRV), onde é notado o encontro dos pontos. Essa estimativa aumentou a precisão do modelo,

definindo-o com classificação ótima para todos os índices de avaliação estatística, os resultados das análises são demonstrados na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores dos índices de concordância (Ic), de precisão (Ip) e desempenho (Id) para a estimativa do rendimento real (Yr) da cultura e seus respectivos desempenhos.

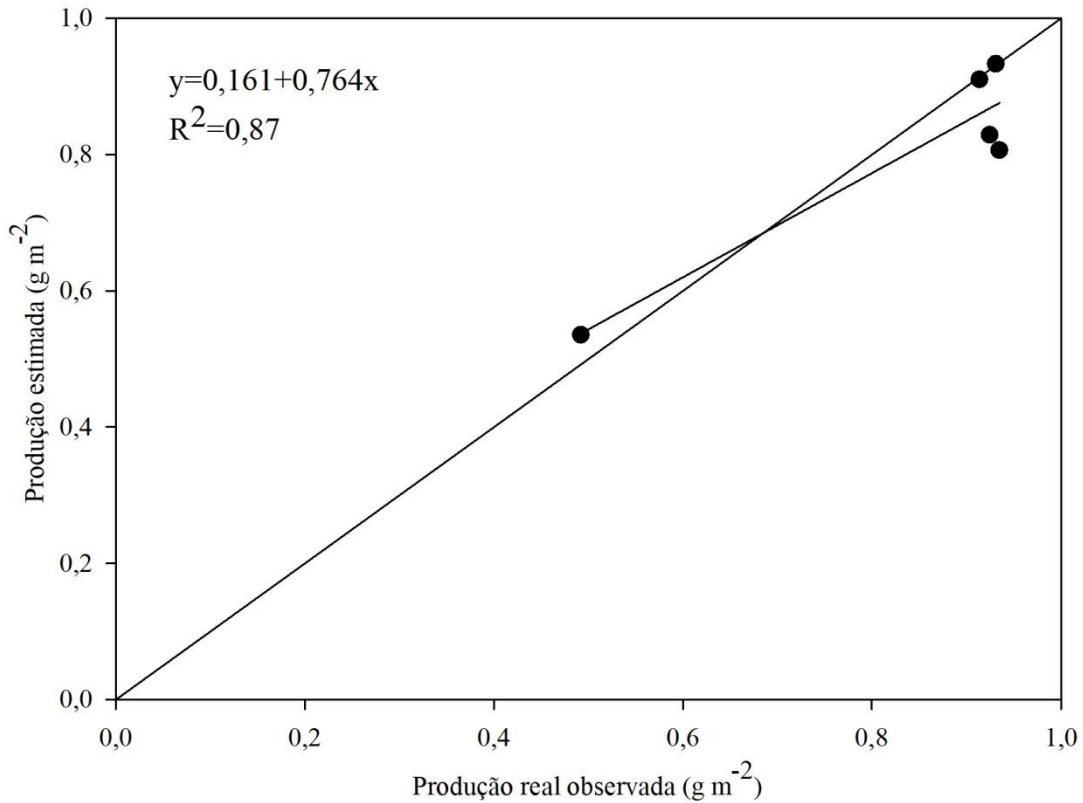
	“Ic”	“Ip”	“Id”
Valor	0,945	0,9452	0,893
Desempenho	Ótimo	Ótimo	Ótimo

Fonte: A autora.

A concordância do modelo de estimativa da produção real (Pr) da cultura obteve classificação ótima, apresentando o valor de 0,945, essa classificação também ocorreu para os índices de precisão e desempenho, com os respectivos valores de 0,945 e 0,893. Andrade Júnior et al. (2006) apresentam o coeficiente de determinação de 0,918 quando comparou a estimativa da produção real e observada para a cultura da soja ao utilizar o modelo de Jensen, apresentando classificação excelente para o modelo.

A variação entre a estimativa e os dados observados mostra uma pequena variação em torno da reta 1:1. O comportamento apresentado aponta que o modelo de Jensen (1968) obteve uma resposta considerável na estimativa da produção para a *Alstroemeria x hybrida*, baseado nos déficits hídricos (DH) dos quais a cultura foi submetida (90, 75, 60, 45 e 30% da capacidade de retenção de vaso - CRV). O comportamento dos dados da Pr observada e estimada pelo modelo, pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Comportamento da produção real (Pr) observada e estimada para a cultura da *Alstroemeria x hybrida* para os distintos percentuais (90, 75, 60, 45 e 30%) da capacidade de retenção de vaso (CRV).



Fonte: A autora.

Os dados da produção real (Pr) se ajustaram a uma equação linear, cujo valor do r^2 foi de 0,8756, demonstrando que existe correlação linear entre os dados observados (Pr-obs) e estimados (Pr) pelo modelo, esta correlação é explicada pelo percentual de 87%. A equação ajustada aos dados foi: $y=0,161+0,764x$. Suay et al. (2003) ao estimarem a área foliar para a cultura da Roseira obtiveram o valor de 0,85 para o coeficiente de correlação nas estimativas. Costa (2014) obteve 0,94 para R^2 na estimativa da produção para a mesma cultura.

Frizzone et al. (2005) justificam que a produtividade pode ser expressa por modelos que considerem apenas o consumo relativo de água como variável independente, pois considera inerente à produtividade todas as outras variáveis. Autores como Matzenauer et al. (1995) apontam que o modelo de Jensen (1968) pode ser utilizado para estimativas do rendimento de grãos e estimativa na produção de flores. A afirmação de que o modelo pode estimar a produção de flores ocorre conforme os resultados apresentados no presente trabalho,

o qual obteve êxito na determinação da produção para a *Alstroemeria x hybrida* produzida na região de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Fontana et al. (2001) apontam que o modelo multiplicativo modificado de Jensen (1968) pode ser usado na estimativa da produção para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. Souza et al. (2013) também apresentaram resultados com relações lineares estreitas quando comparam a produtividade real e observada para a cultura do trigo, o desempenho do modelo foi classificado como “muito bom” para a região de Ponta Grossa, Paraná. Assim como Matzenauer et al. (1995), existem autores que afirmam ser possível determinar o rendimento de culturas utilizando o modelo agrometeorológico de Jensen (1968), porém é de conhecimento geral que a produção de uma cultura está interligada a fatores intrínsecos e extrínsecos. Genética e adaptabilidade da cultura ao ambiente são considerados fatores intrínsecos, já os fatores extrínsecos se relacionam com condições climáticas como a luz, água, solo, ocorrência de pragas entre outros.

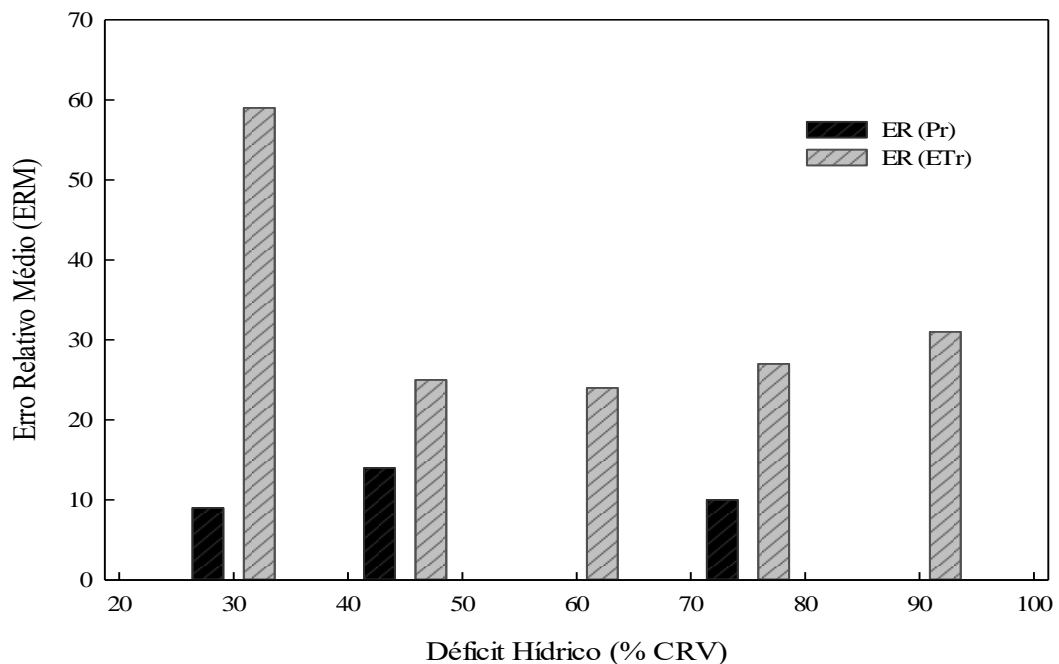
Gomes et al. (2014) ao trabalharem com soja utilizando um modelo mecanístico para simular o rendimento de grãos obteve o desempenho ótimo, demonstrando a eficiência da modelação dos dados experimentais que também estava submetendo a cultura a estratégias de irrigação. Mais tarde Parizi et al. (2016), trabalhando com milho também obteve desempenho ótimo para o modelo, que envolvia estratégias de irrigação para o município de Santiago, RS.

4.4.3 Erro Relativo Médio (ERM)

Para a evapotranspiração real da cultura (ETr) a classificação se adequou à classe fraca e à classe péssima, conforme o ERM. A classificação do modelo para os percentuais de 90 e 30% da CRV foi péssima. Para os demais percentuais (75, 60 e 45 % da CRV) a classificação foi fraca. Os valores obtidos nas estimativas do ERM foram de: 0,31; 0,27; 0,24 e 0,25 para os percentuais de 90, 75, 60, 45 e 30% da CRV, respectivamente. Para as estimativas de ETr o maior valor de ERM foi encontrado para o percentual de 45% da CRV.

Os valores para o ERM na estimativa da produção real (Pr) foram nulos para os percentuais de 90 e 60% da capacidade de retenção de vaso (CRV). Para as lâminas de 75 e 30% da CRV a classificação do ERM foi boa. Para a lâmina de 45% a classificação foi regular. Os valores mencionados foram verificados perante a previsão da produção real (Pr) e evapotranspiração real (ETr) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*, sendo estes, valores observados e estimados (Figura 13).

Figura 13 - Valores referentes ao erro relativo médio (ERM) das estimativas de evapotranspiração real (ETr) da cultura e produção real da cultura (Pr), avaliados conforme os dados observados e estimados para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*.



Fonte: A autora.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que os ajustes dos parâmetros, realizado para a utilização do modelo de Jensen (1968) foram essenciais para a obtenção do coeficiente de determinação (R^2) elevado, garantindo o ótimo desempenho do modelo na estimativa da produção para a *Alstroemeria x hybrida*. Os resultados obtidos para a estimativa da evapotranspiração real (ETr) da cultura variaram entre muito bom, moderado e moderadamente bom.

Com o presente trabalho foram determinados valores para os fatores de penalização por déficit hídrico (λ), que até então eram inexistentes na literatura para a cultura da *Alstroemeria*. Recomendam-se os fatores 0,2067, 0,3197 e -0,1124 nas fases de início do crescimento e desenvolvimento (ICD), pleno crescimento e desenvolvimento (PCD) e de queda no crescimento e desenvolvimento (QCD). Os valores encontrados demonstram que existe uma maior sensibilidade na fase de pleno crescimento e desenvolvimento (PCD), representada pela fase de florescimento da cultura. A fase QCD demonstra um manejo de irrigação ineficiente, devido ao valor negativo encontrado para o fator de penalização por déficit hídrico neste período.

O modelo agrometeorológico de Jensen (1968) pode ser utilizado na estimativa da evapotranspiração real (ETr) e produção real (Pr) para a cultura da *Alstroemeria x hybrida*. A afirmativa pode ser justificada principalmente pelo modelo utilizar fatores de penalização por déficit hídrico (λ), calibrados para a cultura. Outra sugestão baseada nos resultados apresentados é de que a estimativa realizada com o modelo de Jensen (1968) pode ser um exercício de comparação para outros modelos e metodologias de estimativas de culturas ornamentais.

REFERÊNCIAS

- Adams S.R.; Pearson S.; Hadley P.** Os efeitos da temperatura, fotoperíodo e luz integram o tempo de floração do pansy cv. Violeta Universal (*Viola × wittrockiana* Gams Ann. Bot. (Lond.) 80107112, 1997.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO **Irrigation and drainage paper** 56. FAO, Rome, 300(9), D05109. 1998.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 400 p.
- ANACLETO, A. et al. Profile and behavior of flower consumer: subsidies for marketing actions. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n.6, p. 557-566, nov/dez, 2017. DOI: 10.1590/0034-737X201764060001.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Climate variations in greenhouse cultivated with gerbera and relationship with external conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 857-867, 2011.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. et al. **Modelo para estimativa de produtividade da cultura do milho no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 73 p. (Documentos, Embrapa/ Meio-Norte, 157).
- ARAÚJO, A. da S. et al. Análise da fenologia do Girassol *Helianthus annuus* L. variedade anão. **Diversitas Journal**. v.8, n.2,p. 184-190, mai/ago, 2018.
- ARAUJO, M. A.; DE SOUZA, J. L. M.; TSUKAHARA, R. Y. Modelos agro-meteorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v.33, n.1, p.23-31, 2011.
- AROS, D. et al. Gamma irradiation on *Alstroemeria aurea* G. in vitro rhizomes: Na approach to the appropriate dosage for breeding purposes. **Revista de la Facultad de Ciencia Agrarias UNCuyo** 44(1):191-197, 2012.
- AROS, D. et al. Na eficiente method for in vitro propagation of *Alstroemeria pallida* Graham rhizomes. **Chilean Journal of Agricultural Reserach**. 77(1). January-March, 2017.
- ASGHARI, R.; SALARI, A.; GHAREHDAGHI, S. Effect of pulsing and packaging type under exogenous ethylene on physiological characteristics and post harvesting quality of cut roses (*Rosa hybrida*). **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 14, n. 4, p. 329-335, 2014.
- AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. The water quality in agriculture, 2nd Campina Grande: UFPB. **Studies FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 29, 1999.
- BALL, V. **Ball Redbook**. ALSTROEMERIA (INCA LILY). Batavia, Illinois, USA, 16° edição. 1998. 980 p.
- BAIER, W. Noto on the terminology of crop-weather models. **Agricultural Meteoroly**, Amsterdã, v. 20, n. 2, p. 137-145, 1979.

BARNI, N. A. Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol: II ajuste e validação do modelo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.2, n.1, p. 19-31, 1996.

BAYER, E. 1987. Die gattung *altroemeria* in Chile. **Mitteilungen der Botanischen Staatssammlung Munchen** 24:79-83.

BECKER, C. C. **Data de Plantio de Gladiolo para Comercialização em dois picos de consumo no clima atual e em climas futuros no Rio Grande do Sul utilizando Modelo PhenoGlad**. 2017. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

BELLÉ, S. (2000) - **Irrigação de plantas ornamentais**. In: PETRY, C. Plantas ornamentais: aspectos para a produção. Passo Fundo, UPF, p.63-68.

BERGAMASCHI, H. et al. Maize yield and rainfall on diferente spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 603-613, 2007.

BERLATO, M. A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e deficiência hídrica para o Estado do Rio Grande do Sul**. São José dos Campos: INPE, 1987. 103 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Pós Graduação Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

BOORGES, W. G.; RITCHIE, J. T. Economic and risk analysis of irrigation decisions in humid regions. **Journal Production Agricultural**. V. 1, n.2, p. 116-122, 1998.

BOUERI, M. A.; LUNARDI, D. M. C. Avaliação de elementos agrometeorológicos no cultivo do cravo-de-defunto (*Tagetes* sp.) em ambiente protegido e a campo. **Rev. Energia Agricul.**, v. 21, p. 45-54, 2006.

BRIDGEN, M. P.; BARTOK, J. Evaluation of a growing medium cooling system and its effects on the flowering of *Altroemeria*. **Hortscience**, v. 25(12) p. 1592-1594, 1990.

BRONDUM, J. J.; HEINS, R. D. Modeling temperature and photoperiod effects on growth and development of dahlia. **Journal of the American society for horticultural science**, v. 118, n. 1, p. 36-42, 1993.

BUSKE, T. C. **Modelagem para determinação da perda de produtividade da cultura do milho**. 2017. 74 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

BURIOL, G. A. et al. Disponibilidade de radiação solar para o cultivo do tomateiro durante o inverno no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 6, n.1, p. 113-120, 2000.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p. 89-97, 1997.

CAMPOS, J. H. B. da C. **Impactos das alterações climáticas sobre a área de cultivo e produtividade de milho e feijão no nordeste do Brasil usando modelagem agrometeorológica**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, 2010.

CARVALHO, L. G. et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, p. 456-465, 2011.

CARPI, V. A. F. **Registro Nacional de Cultivares**. II Workshop DFIA-ABCSEM, Campinas, julho de 2017.

CAVE, R. L. et al. Modelling temperature, photoperiod and vernalization responses of *Brunonia australis* (Goodeniaceae) and *Calandrinia* sp. (Portulacaceae) to predict flowering time. **Annals of Botany**. 111: 629-639, 2013.

CHAVARRIA, G. et al. Incidência de doenças e necessidades de controle em cultivo protegido de videira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.3, p.477-482, 2007.

CONCATO, J; HARTIGAN, J. A. *P values: from suggestion to superstition*. J Investig Med 2016; 64:1166–1171.

COSTA NETO, P. O. **Correlação e Regressão**. In.: ESTATÍSTICA. São Paulo: E. Blucher, p. 178-228. 1977.

COSTA, E. et al. Diferentes tipos de ambiente protegido e substratos na produção de pimenteiras. **Horticultura Brasileira**, 2017. 35:458-466 DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170324>

COSTA; L. C.; BARROS, A. H. C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 75-82, 2001.

COSTA, L. C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. 1997. p. 3-6.

DA COSTA, A. P. M. da. **Modelação da evapotranspiração da roseira em cultivo em substrato**. 2014. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território. 2014.

DA SILVA, E. T. et al. Comportamento da temperatura do ar sob condições de cultivo em ambiente protegido. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 1,n.1, p. 51-54, jan/mar. 2003.

DE CAMARGO, Â. P.; DE CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

DE MELO, R. W. **Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa do rendimento da soja para o estado do rio grande do sul. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em fitotecnia.** UFRGS, Porto Alegre/RS, 2003

DE OLIVEIRA, C. S.; PIGNATARI, C. A. da C.; CUNHA, C.; **Os entraves logísticos do setor de floricultura no principal entreposto da cidade de São Paulo.** VI Semana da Ciência e Tecnologia, Inovação e Desenvolvimento de Guarulhos de 23 a 27 de outubro de 2017, Guarulhos-SP.

DE OLIVEIRA, G. M. et al. Estimativa da Evapotranspiração de Referência para Ambiente Protegido. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 21-30, 2017.

DE PAULA, R. de C. M. et al. Monitoramento de variáveis micrometeorológicas em diferentes ambientes protegidos no período de inverno. **Revista de Agricultura Neotropical.** Cassilândia-MS, v.4, Suplemento 1, p. 103-109, dez. 2017.

DE WITT, C. T. **Simulation for assimilation, respiration, on transpiration of crop. Ageningen: A Halsted.** Wiley, 1978, 140 p.

Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - Serviço de Pesquisa Agrícola (USDA-ARS). **Comunicando Pesquisa ao Fazendeiro Usando Simuladores de Cultivos Modulares e de Ecossistemas e Sistemas Especializados.** Agricultural Research Service, Washington, DC (1993).

DIAS, N. L. e KAN, A. Evaporação e Evapotranspiração: I – Conceitos Fundamentais. In: **A água em Revista: Revista Técnica e Informativa da CPRN.** Belo Horizonte, n°11, p.37 – 48, nov. 1999.

DI PAOLA, A.; VALENTINI, R.; SANTINI, M. Na overview of available crop growth and yield models for studies and assessments in agriculture. **J Society of Chemical Industry Food Agriculture** (2016); 96: 709-714.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Rome: FAO, 1975. 179 p. (Irrigation and Drainage, Paper 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (FAO Irrigation and Drainage, Paper 33).

DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q. de. Estimativa do armazenamento de água no solo para realização de balanço hídrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v.17, n.1, p. 9-15, 1993.

DOURADO NETO, D. et al. Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de água em El solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 46, jul 1999.

EPAMIG - **Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (2015) Floricultura.** Disponível em: <Disponível em: <http://www.epamig.br/index.php?option=com_content&task=view&id=276>. Acesso em 16 de junho de 2018.

ESTEFANEL, V. et al. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS: i – Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.20, p.203-218, 1990.

FAGGION, F. O; SILVA, C. A.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava**, v. 2, n. 1, p. 187-190, jan./abr. 2009. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/446/606>>. Acesso em: 19 de junho de 2017.

FAGUNDES, J. D. et al. **Temperatura-base e soma térmica de subperíodos do desenvolvimento de *Aspilia montevidensis***. **Bragantia**. v.69, n. 2, p.499-507, 2010.

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

FERNANDES, P. G. **Os desafios do mercado de flores e plantas ornamentais no Brasil**. Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de especialista no curso de pós-graduação em Agronegócio. Departamento de Economia Rural e Extensão, 2016.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; JUNIOR, J. A. S. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 278-283, 1998.

FIGUEREDO JR., L. G. M. de. **Modelo para estimativa da produtividade de grãos de milho no estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2004.

FISHER, R. A. **Statistical Methods For Research Workers**. Oliver and Boyd, Londres, 1925.

FISCHER, S. Z. et al. Durabilidade de rosas, gérbases crisântemos comercializados em Pelotas-RS. **Ornamental Horticulture**. V. 21, n° 1, 2015, p. 113-119.

FONTANA, D. C. et al. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 36, n.3, p. 399-403, mar. 2001.

FONSECA, E. L. da; FORMAGGIO, A. R.; PONZONI, F. J.; Parametrização de modelo agrometeorológico – espectral para estimativa da produção de pastagens do bioma Campos Sulinos (RS). In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005. Goiânia, **Anais...São José dos Campos: INPE**, 2005. P. 127-134.

FRIZZONE, J. A. et al. Funções de produção água-cultura. In: Frizzone, J. A. et al. **Planejamento de Irrigação: análise e decisão de investimento**. Brasília: Embrapa, p 283-314, 2005.

FRIZZONE, J. A.; OLLITA, A. F. L.; PEREIRA, G. T. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação. Região de produção racional. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 28, p. 26-32, mar. 1987.

GALATI, V. C. et al. Postharvest conservation of alstroemeria ‘ajax’ using 1-methycyclopropene. **Ciência e Agrotecnologia** 41(2): 181-190, Mar/Apr. 2017.

GANLIEL, A.; VAN BRUGGEN, A. H. C. Maintaining soil health for crop production in organic greenhouses. **Scientia Horticulturae**. (2015).

GARCIA, C. **Modelagem e simulação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 678 p.

GEERTS, S. e RAES, D. Déficit Irrigation as na on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry áreas. **Agricultural Water Management**. 96(2009), 1275-1284.

Gerss, J. *Nicht signifikant - was nun?*. Zentralbl Gynakol; 128: 307–310, 2006.

GIRARDI, L. B., et al. Water Availability and production of potted Alstroemeria in greenhouse. **Revista Engenharia na Agricultura**. V.26, n.05, p. 444-451, 2018. Viçosa, MG, DEA/UFV. DOI: 10.13083.

GIRARDI, L. B. et al. Crescimento e desenvolvimento da *Alstroemeria x hybrida* quando submetida a diferentes capacidades de retenção de vaso. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n° 1, p. 1191-1200, 2017.

GIRARDI, L. B., et al. Influência da temperatura e da irrigação no número de hastes totais de *Alstroemeria x hybrida*. **Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Vol. 4, n°1, 2016.

GIRARDI, L. B. et al. Evapotranspiração e Coeficiente de Cultura da *Alstroemeria* (*Alstroemeria x hybrida*) Cultivada em Estufa. 2016. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 817-829, outubro-dezembro, 2016.

GIRARDI, L. B. **Disponibilidade Hídrica na produção de Alstroemeria (*Alstroemeria x hybrida*) em vasos**. 2016. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2016. DOI: 10.7127/rbai.v11n100561.

GIRARDI, L. B. et al. Disponibilidade hídrica e seus efeitos sobre o desenvolvimento radicular e a produção de gipsófila envasada em ambiente protegido. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 501-509, 2012.

GOLLO, E. de A. et al. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Cruz Alta – RS. **Jaboticabal**, v. 46, n. 3, p. 226-234, 2018.

GOMES, A. C. dos S. et al. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 44, n.1, jan, 2014.

GRUPTA, R.; GRUPTA, Y. C. Effect of rhizome portions and growing media on establishment of plants and shoot production in *Alstroemeria* [*Alstroemeia hybrids*]. **Journal of Ornamental Horticulture** 10[3]: 161-164, 2007.

- HAMRICK, D. **Ball redbook**: crop production. Batava: Ball, 2003.
- HANKS, R.J. e HILL, R.W. 1980. Modelling crop responses to irrigation in relation to soils, climate and salinity. **International Irrigation Information Centre**, Bet Dagan, Israel, 66 pp.
- HANWAY, J.J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, v. 55, n. 5, p. 487- 492, 1966.
- HELDWEIN, A. B. et al. Variação de temperatura do ar no interior de estufas plásticas. **Revista Argentina de Agrometeorologia**. v.1, n.1, p. 35-42, 2001.
- HILL, R.W.; HANKS, R.J. e WRIGHT, J.L. 1983. Crop yield models adapted to irrigation scheduling programmes. ASAE Pap. 83-2528, **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, MI.
- HOFREITER, A.; RODRÍGUEZ, E. The Alstroemeriaceae in Peru and neighbourind áreas. **Revista Peruana de Biología** 13(1):5-69, 2006.
- HOWELL, T.; HILLER, E. A. e REDDELL, D. L. Optimization of water use efficiency under high frequency irrigation – II. System simulation and dynamic programming. **Transactions of the ASAE**, (1975).
- IBRAFLOR, **Padrão de Qualidade - Critérios de classificação**. Disponível em: <http://www.ibraflor.com/p_qualidade.php> Acesso em: 25 jan. 2018.
- IRIGOYEN, A. I. **Modelagem da evapotranspiração de referência e da evapotranspiração de limeira ácida com aplicação de técnicas de regressão e redes neurais artificiais**. 2010. 205 p. Tese (Doutorado em Ciências – área de Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.
- JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKY, T. T. (Ed.). **Water déficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. P. 1-22.
- JONES, H.G., 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. **Journal of Experimental Botany**, 55(407): 2427-2436.
- JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. da S. O Setor produtivo de flores e plantas ornamentais do Brasil, no período de 2008 a 2013: atualizações, balanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 20, n. 2, p. 115-120, 2014.
- JUNQUEIRA, A.H.; PEETZ, M.S. Brazilian consumption of flowers and ornamental plants: habits, practices and trends. **Ornamental Horticulture**, v.23, n.2, p.178-184, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.14295/oh.v23i2.1070>
- JUNQUEIRA, A.H.; PEETZ, M.S. Intellectual property rights in Brazilian floriculture: innovations for the growth and development of the market. **Ornamental Horticulture**, v.23, n.3, 296-306, 2017b. DOI: [https://doi.org/10.14295/ oh.v23i3.1071](https://doi.org/10.14295/oh.v23i3.1071)

- JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Sustainability in Brazilian floriculture: introductory notes to a systemic approach. **Ornamental Horticulture**, v. 24, n.2, p. 155-182, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/oh.v24i2.1253>
- KAMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2005. 256p.
- KAUSHAL, S. et al. Studies on drip irrigation levels on growth, flowering and yield of alstroemeria (*Alstroemeria hybrida* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** 2018; 7(3): 1950-2955. ISSN: 2278-4136
- KATSOULAS, N.; KITTAS, C. Greenhouse crop transpiration modelling. **Evapotranspiration-from measurements to agricultural and environmental applications**, p. 312-328, 2011.
- KIASEH, D. Y.; YADEGARI, M. The Effect of Ethanol and Cycloheximide on the Vase Life of Cut Flowers *Alstroemeria* (*Alstroemeria hybrida*). **Journal of Ornamental Plants**. V.6, n.2, June, 2016.
- KIM, J.; IERSEL, M. W. V. Estimating daily water use of two *Petunia* cultivars based on plant and environmental factors. **Hortscience** 46(9): 1287.2011.
- KOLESIK, P. et al. New species of gall midge (Diptera: Cecidomyiidae) damaging flower buds of ornamental *Alstroemeria* plants. **Austral Entomology**. Version of Record online: 31 Jul. 2017. DOI: 10.1111/aen.12276
- KLOCKE, N. L. et al. Planning for deficit irrigation, **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph v. 26, n.3. p.405-412, feb. 2010.
- KONST *Alstroemeria*. **Alstroemeria cut flower**. Disponível em: <<http://www.alstroemeria.com/products/alstroemeria-cut-flower>> Acesso em: 25 jan. 2019.
- LABEKE, M. C. V.; DAMBRE, P. Response of five *Alstroemeria* cultivars to soil cooling and supplementary lighting. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 56, p. 135-145, 1993.
- LANGNER, J. A. **Modelagem do desenvolvimento em cultivares crioulas e melhoradas de milho**. 2015. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.
- LEE, J. H., GOUDRIAAN, J., & CHALLA, H. (2003). Using the Exponential Growth Equation for Modelling Crop Growth in Year-round Cut *Chrysanthemum*. **Annals of Botany**, 92(5), 697–708. <http://doi.org/10.1093/aob/mcg195>.
- LEWIS, R. B.; HILER, E. A. e JORDAN, W. R.. 1974. Susceptibility of grain sorghum to water deficit at three growth stages. **Agron. Journal** 66:589-591.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia – ESALQ/USP, 1995. 497 p.

LIMA JÚNIOR, J. C. et al. **Mapeamento e quantificação da cadeia de flores e plantas ornamentais do Brasil** [coordenação e organização Marcos Fava Neves; Mairun Junqueira Alves Pinto]. 1. Ed. São Paulo: OCESP, 2015. 132 p.

LIRA, S. A.; NETO, A. C. Coeficientes de correlação para as variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **Revista Ciência & Engenharia**, v. 104, n. 8, p. 129-129, 1997.

LONE, R. A. et al. Influence of Growth Retardants on Growth of Potted Alstroemeria (Alstroemeria hybrida L.). **International Journal of Plant & Soil Science**. 23 (5): 1-6, 2018.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas Ornamentais no Brasil** – arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 4^o edição. Nova Odessa, SP, Instituto Plantarum. 2008. 1088 p.

MARQUES, G. F., J. R. L. e HOWITT, R. E. (2005). Modeling irrigated agricultural production and water use decisions under water supply uncertainty, **Water Resour. Res.**, 41, W08423, doi:10.1029/2005WR004048

MARTINS, M. A. **Estimativa de produtividade das culturas do milho e do sorgo a partir de modelos agrometeorológicos em algumas localidades da região nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

MARTINS, A. N. e ORTONALI, A. A. Estimativa de produção de laranja valência pela adaptação de um modelo agrometeorológico. **Bargantia**. Campinas, v. 65, n.2, p. 355-361, 2006.

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

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa **Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.1, n.2 p. 225-241, 1995.

MENEGAES, J. F. et al. CONSUMO HÍDRICO DE CALLA LILY SUBMETIDA AO MANEJO DE IRRIGAÇÃO VIA SOLO E TEORES DE COBRE. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n 1, p. 74-86, janeiro-março, 2017.

MOCCALDI, L. A.; RUNKLE, E. S. Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily light integral on growth and flowering of Salvia splendens and Tagetes patula. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 132: 283–288, (2007).

MONTERO, J. L. et al. Computational fluid dynamics modelling of night-time energy fluxes in unheated greenhouses. **Acta Horticulture**, v. 691, p. 403-409, 2005.

MORAES, A. V. C. et al. Teste e análise de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja na região de Ribeirão Preto. **Bargantia**, v. 57, n.2, p. 393-406, 1998.

- MULLER, A. et al. Efeitos climáticos sobre a fenologia de *Lindsaea lancea* (L.) Bedd. (LINDSAEACEAE) em fragmento de floresta atlântica no Sul do Brasil. *Revista Associação Interciência*, Caracas, Venezuela. Vol. 41, n. 1, Janeiro 2016, pp. 34-36.
- MURARO, D.; CUQUEL, F. L.; NEGRELLE, R. R. B. Contribuição do paisagista para desenvolvimento do setor produtivo da floricultura. *Rev. FAE*, Curitiba, v.20, n.1, p.105-111, jan./jun. 2017.
- NAYLOR, T. H. et al. **Computer simulation techniques**. New York: John Wiley & Sons, 1971.
- OLDONI, C. M. Alstroeméria In: PAIVA, P. D. de O. (Coord.). **Produção de flores de corte** Lavras: UFLA 2012, 678 p.
- OLIVEIRA, E. C. et al. Evapotranspiração da roseira cultivada em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 314-321, 2014.
- PADRÓN, R. A. R. et al. Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo de irrigação. *Acta Iguazu*, Cascavel, v.4, n.1, p. 36-47, 2015b.
- PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e produção vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 104 p.
- PARDOSI, A.; INCROCCI, L. Traditional and new approaches to irrigation scheduling in vegetable crops. *HortTechnology*. v.21, n.3, p. 309 – 313.
- PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- PEITER, M. X.; CARLESSO, R. Comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações de água disponível no solo. *Ciência Rural*. Santa Maria, v. 26, n.1, p. 51-55, 1996.
- PEITER, M. X. (1998). **Estudo do Manejo da Irrigação Via modelo de Simulação**. São Carlos, 183 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.
- PENMAN, H. L. (1948). **Natural evaporation from open water, bare soil and grass**. Proc. Royal Soc. London A. 193:120-146.
- PEREIRA, O. A. et al. Relative Air Temperature and Humidity by Forced Ventilation Psychrometers. *Ensaios Cienc., Cinc, Biol. Agrar*. Saúde, v. 21, n. 3, p. 183-186, 2017.
- PICINI, A. G. et al. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. *Bargantia*, Campinas, 58(1): p. 157-170, 1990.

- PIMENTA, B. D. **Análise de formulações explícitas do coeficiente de perda de carga em condutos pressurizados**. Dissertação (DMestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2018.
- PONTES, A. P. **“Produção de plantas ornamentais em ambientes protegidos e a campo.”** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- REBOUÇAS, P. M. et al. Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n.2, p. 115-125, jun. 2015.
- ROBAINA, A. D. **Estudo experimental e de simulação numérica da aplicação da água na produção das culturas**. 1992. 144 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1992.
- ROTHMAN, K. J. *No Adjustments Are Needed for Multiple Comparisons*. *Epidemiology*, Vol. 1, No. 1 (Jan., 1990), pp. 43-46.
- RAO, N. H. e CHANDER, S. A simple dated water-production function for use in Irrigated agriculture. **Agricultural Water Management**. 13 (1988), 25-33.
- RAZI, M. Vase Life and Quality of Cut Alstroemeria as Affected by Integrated Application of Plant Essential Oils and Non-Chemical Treatments. **Journal of Ornamental Plants**. V.7, n.2, p. 81-91, March, 2017. ISSN (Online): 2251-6441.
- ROSA, J. Q. S. **Cultivo de pimentões sob telas fotosseletivas**. 2012. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.
- SÁ, C.D.; SAES, M.S.M. Propriedade intelectual na cadeia de flores e plantas ornamentais: uma análise da legislação brasileira de proteção de cultivares. **Revista Brasileira de Inovação**, v.14, n.1, p.49-76, 2015.
- SA SAMOON, N.; BASHIR, Z. Response of rhizomatic parameters of Alstremeria to organic and inorganic fertilizers under protected conditions. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 2018, 7(3): 423-426. ISSN: 2278-4136
- SAMADIANFARD, S. Gene expression programming analysis of implicit Colebrook-White equation in turbulent flow friction factor calculation. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 92, p. 48-55, 2012.
- SANTOS, M. A. dos; e CAMARGO, M. B. P. de. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de São Paulo. **Bargantia**. Campinas, v.61, n.1, p. 173-183, 2006.
- SEYYEDYOUSEFI, S. R.; KAVIANI, B.; DEHKAEI, N. P. The effect of diferente concentration of NAA and BAP on micropropagation of Alstroemeria. **Pelagia Research Library**, European Journal of Experimental Biology, 2013, 3 (5): 133-136. ISSN: 2248-9215.

SCHAFFER, G.; DE SOUZA, P. V. D.; FIOR, C. S. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. **Ornamental Horticulture**, v. 21, n° 3, 2015, p. 293-306.

SHIPLEY, J. e REGIER, C. 1970. Water response in the production of irrigated grain sorghum, High Plains of Texas, 1969. **Progress Report** 2829, Texas Agricultural Experiment Station.

SCHWAB, N. T. **Disponibilidade hídrica no cultivo de cravina em vasos com substrato de cinza de casca de arroz**. 2011. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

SCHWAB, N. T. et al. Consumo hídrico de cravina submetida a diferentes estratégias de irrigação e tamanhos de vaso. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 328-336, abril-junho, 2013.

SCHWAB, N. T. et al. Parâmetros quantitativos de hastes florais de gladiolo conforme a data de plantio em ambiente subtropical. **Pesquisa Agropecuária brasileira**. Brasília, v.50, n.10, p. 902-911, out-2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001000006

SILVA, G. L. S. da; VICENTE, J. R. e CASER, D. V. **Avaliação de previsões de rendimento de culturas do estado de São Paulo, fornecidos por modelos agrometeorológicos, anos agrícolas 1984/85 e 1985/86**. Trabalho apresentado no Simposio sobre manejo de água na agricultura. Campinas, SP. De 17 a 19 de março de 1987.

SINGH, J. et al. Influence of Growing media and NPK on growth and flowerinf of Alstroemeria cv. Capri. **International Archive of Applied Science and Technology**. Vol 8 [3] September 2017: 53-60. DOI: 10.15515/iaast.0976-4828.8.3.5360

SINGH, A.; PANDA, S. N. Developmente and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 115, p. 267-275, Dec. 2012.

SKIRVIN, D. J. et al. Modelling the effects of plant species on biocontrol effectiveness in ornamental nursery crops. **Journal of Applied Ecology**, 39, 469-480, (2002).

SOLER, C. M. T.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. The impacto of El Niño Southen Oscillation phases on off-season maize yield for a subtropical region of Brazil. **International Journal of Climatology**. 30: 1056-1066 (2010).

SOUZA, J. L. M. de; GETRSTEMBERGER, E.; ARAUJO, M. A. Calibração de modelos agrometeorológicos para estimar a produtividade da cultura do trigo, considerando sistemas de manejo do solo, em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.4, 409-418, 2013.

STRECK, N. A. A temperature responde function for developiment of the chrysanthemum (*Chrysanthemum x morifolim* Ramat.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.1, p. 49-54, jan. 2004.

- STEWART, J. I. et al. 1974. Irrigating corn and grain sorghum with limited water. Paper No. 74-2024, **ASAE**, St. Joseph, Mich. 49085. 32 p. 17.
- TA, T. H. et al. Modeling of transpiration of Paprika (*Capsicum annuum* L.) plants based on radiation and leaf area index in soilless culture. *Hort. Environ. Biotechnol.* 52(3):265-269, (2011). DOI 10.1007/s13580-011 – 0216-3.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5.ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.,2010. 782 p.
- TERUEL. B. Controle automatizado de casas de vegetação: variáveis climáticas e fertigaçãõ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 14, n. 3, p. 237-245, 2010.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. New Jersey: Laboratory of climatology, 104 p. 1955. (Publication in Climatology, 8).
- TOMBOLATO, F. A. **Cultivo Comercial de Plantas Ornamentais**. Instituto Agrônômico, Campinas, SP. 2004. 211 p.
- TOMBOLATO, A. F. C. et al. Bulbosas ornamentais no Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**. V. 16, n.2, 2010, p. 127-138.
- TSEGAW, T.; TILAHUNS, S.; HUMPHRIES, G. Influence of pulsing biocicles and preservative solution treatment on the vase life of cut rose (*Rosa hybrida* L.) varieties. **Ethiopian Journal of Applied Sciences and Technology**, Addis Abeba, v.2, n.2, p. 1-18, 2011.
- VAID, T. M.; RUNKLE, E. S. Developing flowering rate models in response to mean temperature for common anual ornamental crops. **Scientia Horticulturae** 161 (2013) 15-23
- VIDA, J. B. et al. Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, n.4, p. 355-372, 2004.
- VIVIAN, G. A. et al. Rendimento relativo da cultura da soja em função da lâmina de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 282-292, abril-junho, 2013.
- VLAD, I. et al. Results obtained in the cultivation of diferent varieties of *Alstroemeria*. **Protectia Mediului**, v. XIII, p. 372-375, 2008..
- WAZIR, J. S. et al. Performance of potted *Alstroemeria* (*Alstroemeia hybrida* L.) in diferente growing media under wet temperate conditions. **Journal of Ornamental Horticulture** 12 (3): 167-174, 2009.
- WILMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.
- WOOLSTON, C. **Psychology journal bans P values**. Nature, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/news/psychology-journal-bans-p-values-1.17001>. Acessado em: 10/03/2019.

YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D. L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 74, n. 1/2, p. 61-74, Apr. 1995.

YEH, DM; ATHERTON, JG; CRAIGON, J. Um modelo de tempo térmico do desenvolvimento de flores pós-iniciação na planta de sombra, cineraria. **Anais da biologia aplicada**, v. 134, n. 3, p. 335-340, 1999.

ZANELA, L. **Caracterização cariotípica de quatro espécies brasileiras de *alstroemeria* (alstroemeriaceae) com as técnicas de fish, cma, dapi e agnor.** 2009. 79 p. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) – Instituto Agronômico. Campinas, SP. 2009.

ZANELLO, C. A.; CARDOSO, J. C. Resíduos compostados como substrato para produção de *Petunia x Hybrida*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**; v.6, n.3, p. 46-53, Setembro, 2016.