

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

Lilian Osmari Uhlmann

**PHENOGLAD: UM MODELO DE SIMULAÇÃO DO
DESENVOLVIMENTO EM GLADIÓLO**

Santa Maria, RS, Brasil
2016

Lilian Osmari Uhlmann

**PHENOGLAD: UM MODELO DE SIMULAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO EM
GLADIÓLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Dr. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Osmari Uhlmann, Lilian
PhenoGlad: um modelo de simulação do desenvolvimento
em gladiolo / Lilian Osmari Uhlmann.-2016.
119 p.; 30cm

Orientador: Nereu Augusto Streck
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2016

1. Gladiolus x grandiflorus Hort. 2. Fenologia 3.
Estágios de desenvolvimento 4. Modelos agrícolas 5.
Floricultura I. Streck, Nereu Augusto II. Título.

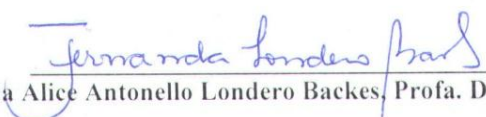
Lilian Osmari Uhlmann

**PHENOGLAD: UM MODELO DE SIMULAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO EM
GLADIÓLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 24 de fevereiro de 2016:


Nereu Augusto Streck, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Fernanda Alice Antonello Londero Backes, Profa. Dr.^a. (UFSM)


Gilmar Schafer, Prof. Dr. (UFRGS)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Wilmar e Neide Uhlmann pela educação, apoio e exemplo de vida.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar durante a Graduação e Pós-Graduação.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de realizar este estudo.

Ao professor Dr. Nereu Augusto Streck pelas orientações e ensinamentos durante o curso de Graduação e Pós-Graduação.

À minha família, pela educação, apoio, carinho e compreensão durante os anos de estudo.

Ao meu namorado, amigo e colega desde a graduação Fabio Rodrigo Thewes pelo companheirismo, compreensão e ajuda.

Às professoras do Departamento de Fitotecnia Natalia Teixeira Schwab e Fernanda Alice Antonello Londero Backes pela colaboração durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao grupo de pesquisa em Agrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em especial, aos integrantes da equipe gladiolo pela valiosa ajuda nos trabalhos de condução dos experimentos de campo.

Às equipes da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – campus Itaqui, UFSM – campus Frederico Westphalen, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – campus Curitibanos e ao produtor de gladiolo sr. Milton Cauzzo, que auxiliaram e colaboraram com a pesquisa.

À colega de pós-graduação Camila Coelho Becker pelo auxílio nas análises dos dados.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro através da bolsa de mestrado.

À colega de graduação e pós-graduação Josana Andreia Langner, pela amizade e companheirismo de longa data.

Ao sr. Adair Belli, da Agropecuária Agroforte, pela ajuda na obtenção dos cormos de gladiolo para a realização dos experimentos.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia e do Programa de Pós Graduação em Agronomia pelos ensinamentos.

MUITO OBRIGADA.

RESUMO

PHENOGLAD: UM MODELO DE SIMULAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO EM GLADIÓLO

AUTORA: Lilian Osmari Uhlmann
ORIENTADOR: Nereu Augusto Streck

Modelos matemáticos de simulação das culturas agrícolas são importantes ferramentas para auxiliar os produtores a planejar práticas de manejos a campo e prever a data de florescimento de flores de corte, como o gladiólo (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.). O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo robusto de fenologia chamado PhenoGlad com aplicações de campo. O modelo descreve a data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento da cultura do gladiólo, incluindo o ponto de colheita, a vida de vaso de hastes de gladiólo e os efeitos de baixas e altas temperaturas na qualidade das espigas. O modelo de desenvolvimento de gladiólo simula a fenologia da cultura utilizando uma função de resposta não-linear à temperatura, através do acúmulo de valores diários da taxa de desenvolvimento a partir do plantio ou da emergência, usando três principais fases de desenvolvimento da cultura: fase de brotação dos cormos, fase vegetativa e fase reprodutiva. Dados de nove experimentos de campo conduzidos durante cinco anos (2011 – 2015) em três locais do estado do Rio Grande do Sul e em um local em Santa Catarina, Brasil, foram utilizados. Estes experimentos com diferentes cultivares x datas de plantio x anos x locais proporcionam um rico banco de dados para calibração e validação do modelo para a cultura do gladiólo. O modelo PhenoGlad simulou satisfatoriamente a dinâmica de emissão de folhas, número final de folhas e a data dos estágios de desenvolvimento em gladiólo usando coeficientes genético-específicos que podem também ser estimados através da soma térmica. O modelo PhenoGlad mostrou uma boa estabilidade entre cultivares, datas de plantio, anos e locais, demonstrado pelos baixos valores de RMSE (0,5 dias para aparecimento de folhas e número final de folhas, 6,5 a 5,0 dias quando o modelo é rodado a partir do plantio e da emergência, respectivamente, e 1,3 dias para simular a vida de vaso de espigas de gladiólo). O modelo PhenoGlad foi também eficiente em prever os efeitos de baixas e altas temperaturas na qualidade das espigas.

Palavras-chave: *Gladiolus x grandiflorus* Hort.. Fenologia. Estágios de desenvolvimento. Modelos agrícolas. Qualidade de hastes. Floricultura.

ABSTRACT

PHENOGLAD: A MODEL FOR SIMULATING DEVELOPMENT IN GLADIOLUS

AUTHOR: Lilian Osmari Uhlmann

ADVISOR: Nereu Augusto Streck

Crop simulation models are important tools to help farmers in planning management practises and flowering time of cut flowers, like gladiolus (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.). The objective of this study was to develop a robust gladiolus phenology model, named PhenoGlad, for field applications. The model describes the timing of developmental stages, including harvest point, the vase life of gladiolus spikes and the low (chilling) and high (heat) temperature effects on spike quality. The gladiolus developmental model simulates gladiolus phenology using a non-linear temperature response function and, by accumulating daily development rates considering three main phases: corms sprouting phase, vegetative phase, and reproductive phase. Data from nine field experiments conducted during five years (2011 – 2015) in three locations across the Rio Grande do Sul State and in one location in Santa Catarina State, Brazil, were used. These cultivar x planting dates x years x locations experiments provide a rich data set for calibrating and evaluating the gladiolus model. The PhenoGlad model accurately simulated the dynamics of leaf development, final leaf number and the timing of developmental stages using genotype-specific coefficients that can be estimated from thermal time. The performance of the model was improved when the simulations started from emergence compared to when simulations started at the planting date. PhenoGlad showed good stability among cultivars, planting dates, years and sites, with an RMSE of 0.5 leaves for leaf development and final leaf number, 6.5 to 5.0 days for the date of reproductive developmental stages when the model started from planting or from emergence, respectively, and 1.3 days for simulating the vase life of harvested spikes. PhenoGlad was also efficient in predicting the effects of chilling and high temperatures damage on florets.

Keywords: *Gladiolus x grandiflorus* Hort. Phenology. Developmental stages. Crop models. Spike quality. Floriculture.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA.....	29
Figura 1 - Sequência dos estágios de desenvolvimento da cultura do gladiolo.....	40
ARTIGO 1.....	43
Fig. 1. Maps of South America and Brazil (A), and the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina (B) with the sites used for conducting the field experiments (Santa Maria, Itaquí, Frederico Westphalen, and Curitiba). The field experiment on a commercial farm was in Santa Maria.	74
Fig. 2. Schematic timeline and developmental sequence of gladiolus simulated in PhenoGlad. Developmental cycle was divided into main phases (a, c, d) and sub-phases (sub-division within each main phase). The sequence of vegetative stages (V1, V2, V3,...,Vn) in (b) comprises the appearance of leaves during the vegetative main phase. Equations used in simulating each of the main phases and sub-phases are shown. Coding number of each developmental stage are shown in (e). LAR= leaf appearance rate (leaves day ⁻¹), LAR _{max} = maximum leaf appearance rate (leaves day ⁻¹), f(T)= temperature function, CF= correction factor for higher leaf appearance rate of the uppermost leaves, VF= flag leaf, r= developmental rate (day ⁻¹), r _{max_s} = maximum developmental rate (day ⁻¹) during the sprouting main phase, r _{max_v} = maximum development rate (day ⁻¹) during the vegetative main phase, r _{max_h} = maximum developmental rate (day ⁻¹) during the heading sub-phase, r _{max_f} = maximum developmental rate (day ⁻¹) during the flowering sub-phase. Dashed arrow in (d) indicates that the R-Stages R3.4 and R3.5 occur simultaneously.....	75
Fig. 3. Temperature response functions f(T) used in PhenoGlad to simulate the developmental phases of gladiolus: sprouting phase (T _b = 5°C, T _{opt} = 25°C and T _B = 35°C), vegetative phase (T _b = 2°C, T _{opt} = 27°C and T _B = 45°C), and reproductive phase (T _b = 6°C, T _{opt} = 25°C and T _B = 42°C).	76
Fig. 4. Daily minimum and maximum air temperatures (°C) and solar radiation (MJ m ⁻² dia ⁻¹) (A), and soil moisture (cm ³ cm ⁻³), and precipitation (mm day ⁻¹) (B) during the on-farm experiment in Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil, in 2015.	77
Fig. 5. Relationship between r _{max_s} x and accumulated thermal time during the sprouting phase (A), r _{max_v} x and accumulated thermal time during the vegetative phase (B), r _{max_h} x and accumulated thermal time during the heading sub-phase (C), r _{max_f} x and accumulated thermal time during the flowering sub-phase (D) and LAR _{max} x phyllochron during the appearance of leaves phase (E) for 10 gladiolus cultivars. ...	78
Fig. 6. Temperature response function f(T) used in the PhenoGlad model for the sprouting developmental phase. The circles are the observed values for cultivar Amsterdam	

performed in a controlled environment experiment (panel A) and for cultivars Amsterdam, Rose Friendship, Peter Pears and Jester in field experiments conducted in Santa Maria from 2011 to 2013 (panel B)..... 79

Fig. 7. The simulated versus observed cumulative leaf number (CLN) in eight cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Amsterdam, G= Peter Pears, H= T704) with the PhenoGlad model in Santa Maria, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations. 80

Fig. 8. The simulated versus observed cumulative leaf number (CLN) in six cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Gold Field) with the PhenoGlad model in Itaquí, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations. 81

Fig. 9. The simulated versus observed cumulative leaf number (CLN) in six cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Gold Field) with the PhenoGlad model in Frederico Westphalen, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations. 82

Fig. 10. The simulated versus observed days after planting (DAP) of heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and, end of floret senescence (R5) in eight cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Amsterdam, G= Peter Pears, and H= T704) with the PhenoGlad model in Santa Maria, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations. 83

Fig. 11. The simulated versus observed days after planting (DAP) of heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in six cultivars of gladiolus: Jester (A), Rose Friendship

(B), White Friendship (C), Purple Flora (D), Green Star (E), Gold Field (F) with the PhenoGlad model in Itaquí, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations. 84

Fig. 12. The simulated versus observed days after planting (DAP) of heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in six cultivars of gladiolus: Jester (A), Rose Friendship (B), White Friendship (C), Purple Flora (D), Green Star (E), Gold Field (F) with the PhenoGlad model in Frederico Westphalen, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations. 85

Fig. 13. The simulated versus observed cumulative leaf number (A), final leaf number (B), and days after planting (DAP) with the PhenoGlad model run starting at emergence (C) and days after planting (DAP) with the PhenoGlad model run starting at planting (D) of the developmental stages emergence (VE), heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5). Data of all locations (Santa Maria, Itaquí and Frederico Westphalen) and planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations. 86

Fig. 14. Developmental stage (DVS) and V-Stage as a function of days after planting for six gladiolus cultivars (A= Purple Flora, B= Amsterdam, C= Green Star, D= White Goddess, E= Jester, F= Gold Field) grown in Curitiba, SC, Brazil, as observed and simulated with PhenoGlad run from emergence. Arrows represent the timing of nitrogen side dressing at V3-stage (blue arrow) and harvest point (orange arrow). Planting date was on 29 Sep. 2015. 87

Fig. 15. Developmental stage (DVS), and V-Stage as a function of days after planting for six gladiolus cultivars (A= Purple Flora, B= Amsterdam, C= Green Star, D= White Goddess, E= Jester, F= Gold Field) grown in a commercial farm in Santa Maria, RS, Brazil, as observed and simulated with PhenoGlad. The model was run from planting for all cultivars, except for cultivar Green Star, which was run started from

emergence. Arrows represent the timing of nitrogen side dressing at V3-stage (blue arrow) and harvest point (orange arrow). Planting date was on 27 Jul. 2015. 88

Fig. 16. The simulated versus observed days after harvest (R2) of onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5) and half of florets senesced (R3.6) in six gladiolus harvested spike cultivars: Purple Flora, Amsterdam, White Goddess, Green Star, Jester and Gold Field with the PhenoGlad model. The solid line is the 1:1 line. Inset is the residues. RMSE = root mean square error. Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul State, Brazil..... 89

Fig. 17. Duration (days) of the phases planting to emergence (PL-VE), emergence to heading (VE-R1.0), and heading to flowering (R1.0-R2), of nine gladiolus cultivars (1= White Friendship, 2=Purple Flora, 3=Rose Friendship, 4= Amsterdam, 5= T704, 6= Peter Pears, 7= Green Star, 8= Jester and 9= Gold Field) simulated with the PhenoGlad model for three planting dates (30 Jul. 2014, 30 Aug. 2014, and 30 Sep. 2014) in Santa Maria, Itaqui and, Frederico Westphalen, RS, Brazil. 90

DISCUSSÃO GERAL.....91

Figura 2 - Estágios de desenvolvimento (DVS) simulado e observado e estágios vegetativos (Estágios-V) em função de dias após o plantio observados a campo e simulados com o modelo PhenoGlad rodado a partir da emergência para cinco cultivares de gladiólo (A= Purple Flora, B= Amsterdam, C= Green Star, D= Jester, E= Gold Field) cultivados em Curitiba – SC, Brasil. A data de plantio foi em 30 de outubro de 2015. As setas em azul representam o momento de aplicação da adubação nitrogenada de cobertura no estágio V3 e as setas em alaranjado o ponto de colheita das hastes em R2. 95

Figura 3 - Tela inicial do PhenoGlad, versão em português, onde o usuário deve informar os dados de entrada para realizar a simulação. 96

Figura 4 - Tela inicial do PhenoGlad, versão em inglês, onde o usuário deve informar os dados de entrada para realizar a simulação. 97

Figura 5 - Cultivares de gladiólo e ciclos de desenvolvimento disponíveis no programa PhenoGlad. 98

Figura 6 - Página de simulação do programa PhenoGlad mostrando a data de plantio selecionada com o ano inicial da simulação. Neste caso, a simulação será realizada para cinco anos com a mesma data de plantio (15 de janeiro) para cada ano. 99

Figura 7 - Soma térmica acumulada (ST, em °C dia) durante a fase VE – R2 de dez cultivares de gladiólo. 100

Figura 8 - Página de simulação do programa PhenoGlad mostrando os alertas relativos a injúrias devido a altas temperaturas.....	101
Figura 9 - Página de resultados do programa PhenoGlad mostrando a evolução dos dados meteorológicos do período de simulação.....	102
Figura 10 - Página de resultados do programa PhenoGlad mostrando a evolução dos dados meteorológicos do período de simulação.....	103
Figura 11 - Página de resultados do programa PhenoGlad mostrando uma tabela resumida dos resultados, com a data de ocorrência dos estágios vegetativos e estágios de desenvolvimento em gladiolo.	104
Figura 12 - Tela inicial do site oficial do PhenoGlad, versão em português, disponível em: www.ufsm.br/phenoglad	105
Figura 13 - Tela inicial do site oficial do PhenoGlad, versão em inglês, disponível em: www.ufsm.br/phenoglad	106
Figura 14 - Tela inicial da página Facebook do programa PhenoGlad.....	107

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA.....	29
Tabela 1 – Escala de desenvolvimento para gladiolo.	39
ARTIGO 1.....	43
Table 1 – Experiments in Brazil with locations, gladiolus cultivars and planting dates (dd/mm/yyyy) used as data sets in the study	69
Table 2 – Planting dates (dd/mm/yyyy) and experiments with gladiolus cultivars used for calibrating the PhenoGlad model. The planting dates were the same for calibrating the leaf appearance and the phenology phases unless otherwise stated. Santa Maria, RS, Brazil	70
Table 3 – Summary of meteorological variables of daily minimum, maximum and mean temperature, daily mean solar radiation and accumulated precipitation for each season in each location and daily mean experiment with gladiolus in Rio Grande do Sul and Santa Catarina	71
Table 4 – Coefficients of the PhenoGlad model (LAR _{max} , r _{maxs} , r _{maxv} , r _{maxh} , r _{maxf} , day-1) for the leaf appearance phase and the developmental phases planting to emergence (PL – VE), emergence to heading (EM - R1.0), and sub phases heading to blooming (R1 - R2), and blooming to end of floret senescence (R2 - R5) in ten cultivars of gladiolus. Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil...	72
Table 5 – Percentage of model accuracy (PC), for predicting chilling and heat injuries with the PhenoGlad model in gladiolus grown in Santa Maria and Frederico Westphalen, RS, Brazil. n= number of observations	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATT	Accumulated thermal time
BIAS	BIAS index
CF	Correction Factor
CLN	Cumulative Leaf Number
DAP	Days After Planting
DVS	Developmental Stage
Dw	Index of agreement
f(T)	Temperature response function
FAR	Frequency of false alarms
FLN	Final Leaf Number
H	Hit rate
INMET	Brazilian National Weather Service
LAR	Leaf Appearance Rate
LAR _{max}	Maximum daily leaf appearance rate
MSE _{ns}	Unsystematic error
MSE _s	Systematic error
PC	Model accuracy
PL	Planting
R	Daily developmental rate and correlation coefficient
R1.0	Heading / Espigamento
R2	Blooming / Desenvolvimento dos botões florais
R ²	Coefficient of determination
R3	Onset of anthesis / Início da antese
R3.4	Half of anthesis / Metade da antese
R3.5	Beginning floret senescence / Início da senescência da haste floral
R3.6	Half of florets senesced / Metade da senescência da haste floral
R4	Anthesis completed / Final da antese
R5	End of floret senescence / Senescência completa da haste floral
R6	Senescência da planta
rmax	Maximum daily developmental rate
rmax _f	Maximum developmental rate during the flowering sub-phase
rmax _h	Maximum developmental rate during the heading sub-phase
rmax _s	Maximum developmental rate during the sprouting main phase
rmax _v	Maximum development rate during the vegetative main phase
RMSE	Root Mean Square Error
S0	Cormo dormente
S1	Aparecimento das raízes
S2.1	Aparecimento do primeiro catáfilos
S2.2	Aparecimento do segundo catáfilos
S2.3	Aparecimento do terceiro catáfilos
S2.4	Aparecimento do quarto catáfilos
T	Average daily air temperature
Tb	Cardinal minimum temperature / Temperatura basal inferior
TB	Cardinal maximum temperature / Temperatura basal superior
Topt	Cardinal optimum temperature
TT	Daily thermal time
UFSC	Federal University of Santa Catarina
UFSM	Federal University of Santa Maria

UNIPAMPA	Federal University of Pampa
V1	First leaf / Primeira folha
V2	Second leaf / Segunda folha
V3	Third leaf / Terceira folha
VE	Emergence / Emergência
VF	Flag Leaf / Folha bandeira
Vn	Enésima folha
WE	Wang and Engel model

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE A** – The simulated versus observed days after planting (DAP) of emergence (VE), heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in eight cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Amsterdam , G= Peter Pears and H= T704) with the WE model in Santa Maria, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.....117
- APÊNDICE B** – The simulated versus observed days after planting (DAP) of (VE), heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in six cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Gold Field) with the WE model in Itaquí, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.....118
- APÊNDICE C** – The simulated versus observed days after planting (DAP) of (VE), heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in six cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Gold Field) with the WE model in Frederico Westphalen, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.....119

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	28
1.1.	HIPÓTESES	29
1.2.	OBJETIVO	29
2.	REVISÃO DE LITERATURA	30
2.1.	IMPORTÂNCIA DA FLORICULTURA BRASILEIRA	30
2.2.	CULTURA DO GLADIÓLO	31
2.2.1.	Descrição botânica	31
2.2.2.	Importância agrônômica	32
2.2.3.	Aspectos fitotécnicos da cultura do gladiólo.....	34
2.2.4.	Influência de variáveis meteorológicas na cultura do gladiólo.....	35
2.2.5.	Escala de desenvolvimento para a cultura do gladiólo.....	37
2.3.	MODELOS DE SIMULAÇÃO DAS CULTURAS AGRÍCOLAS	40
2.3.1.	Modelagem de espécies ornamentais.....	41
3.	ARTIGO 1	44
3.1.	INTRODUCTION	46
3.2.	MATERIAL AND METHODS	48
3.2.1.	Controlled experiment.....	48
3.2.2.	Field experiments	48
3.2.3.	Plant and weather data collection in the field experiments	50
3.2.4.	Postharvest experiment	50
3.2.5.	Model description.....	51
3.2.6.	Leaf appearance phase	51
3.2.7.	Phenological phases	52
3.2.8.	Chilling and heat injury	52
3.2.9.	Model calibration	53
3.2.10.	Model evaluation	54
3.2.11.	Model coding and software	55
3.3.	RESULTS	56
3.3.1.	Meteorological conditions during the field experiments	56
3.3.2.	Estimates of model coefficients and their relationship with thermal time	56
3.3.3.	Temperature response function for the sprouting phase	56
3.3.4.	Simulation of leave appearance	57
3.3.5.	Simulation of developmental stages	58
3.3.6.	Performance of the PhenoGlad model in Santa Catarina State	59
3.3.7.	Performance of the PhenoGlad model on farm	59

3.3.8. Performance of the PhenoGlad model to simulate the developmental stages in harvested spikes	60
3.3.9. Simulating of chilling and heat injury	60
3.3.10. Using PhenoGlad to simulate genotype x environment interactions	60
3.4. DISCUSSION.....	61
3.5. CONCLUSIONS	62
3.6. ACKNOWLEDGEMENTS.....	63
3.7. REFERENCES	64
4. DISCUSSÃO GERAL	91
5. CONCLUSÃO.....	109
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A floricultura brasileira tem como características ser uma atividade intensiva com base produtiva em pequenas áreas, gerar grande número de empregos diretos e indiretos e ter alta rentabilidade por área. Um dos principais produtos da floricultura é o gladiolo ou Palma-de-Santa-Rita (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.), o qual tem importância mundial e nacional como flor de corte, planta ornamental para uso em paisagismo e para produção comercial de cormos. O desenvolvimento do gladiolo é afetado principalmente pela temperatura do ar (SHILLO; HALEVY, 1976a; STRECK et al., 2012) e em menor escala pelo fotoperíodo (SHILLO; HALEVY, 1976b). É uma planta que precisa ser cultivada sob pleno sol, pois é muito sensível à restrição luminosa, que pode causar redução da taxa de florescimento, principalmente quando associada à ocorrência de temperaturas extremas (BARBOSA et al., 2011).

Em culturas florícolas, é importante conhecer a fenologia da cultura, ou seja, as diferentes fases do ciclo de desenvolvimento que ela passa até o final do seu ciclo, a fim de realizar práticas culturais no momento correto e planejar épocas de plantio para escalonar a produção e reduzir a sazonalidade da oferta de flores no mercado (STRECK et al., 2012). Além disso, para um produtor que precisa ofertar seu produto ao mercado durante todo o ano, é importante que ele conheça os fatores genéticos e ambientais que afetam a fenologia da cultura.

Os modelos matemáticos são uma simplificação da realidade que descrevem as principais interações genótipo-ambiente através de equações. Em relação aos efeitos da temperatura no crescimento e desenvolvimento vegetal, os modelos de desenvolvimento vegetal podem ser divididos em modelos lineares e não-lineares. Os modelos lineares são mais simples e usam o conceito da soma térmica, que acumula graus dias acima de uma temperatura base, abaixo da qual não ocorre desenvolvimento ou este é tão pequeno que pode ser desprezado (STRECK, 2002a). Porém, na maioria dos métodos de cálculo da soma térmica é assumida uma resposta linear do desenvolvimento à temperatura, o que não é completamente realístico do ponto de vista biológico da planta. Uma das maneiras de contornar esse problema é o uso de modelos multiplicativos que empregam funções de resposta não lineares para representar o efeito dos fatores bióticos e abióticos sobre o desenvolvimento vegetal (STRECK et al., 2003a,b).

Os modelos matemáticos devidamente calibrados para as condições e genótipos locais são ferramentas úteis para aplicações de campo, pois permitem sua utilização para tomada de

decisões referentes ao manejo da cultura (STRECK et al., 2003a,b) através da simulação da data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento das culturas. A maioria dos modelos matemáticos disponíveis na literatura são para simular o crescimento e o desenvolvimento de grandes culturas. O uso de modelos com espécies florícolas, em especial na cultura do gladiolo, não foram encontrados na literatura.

Assim, é de fundamental importância a calibração e a validação de um modelo matemático que simule o desenvolvimento da cultura do gladiolo com aplicação a campo. Com este modelo busca-se simular a data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento da cultura, o que pode auxiliar o produtor a escalonar o plantio dos cormos para ajustar a colheita das hastes de acordo com os picos de demanda do mercado. Além disso, descrever os efeitos de variáveis ambientais na qualidade do produto final, uma vez que estes fatores são os principais componentes do preço dos produtos da floricultura.

1.1. HIPÓTESES

Um modelo matemático calibrado a partir de dados em Santa Maria simula bem o desenvolvimento do gladiolo cultivado em diferentes locais do estado do Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, utilizando como dados de entrada a temperatura média diária do ar.

Um modelo matemático, calibrado a partir de experimentos de campo, auxiliará a prever a data de ocorrência de diferentes estágios de desenvolvimento na cultura do gladiolo e, assim, poderá ser usado como ferramenta de campo, auxiliando na tomada de decisão de práticas de manejo e planejamento da colheita.

O modelo matemático de desenvolvimento é capaz de descrever a influência da temperatura na qualidade de hastes de gladiolo e simular a vida de vaso das hastes.

Há variação no ciclo de desenvolvimento de diferentes cultivares de gladiolo cultivadas a campo ao longo do ano e um modelo matemático calibrado para cada genótipo é capaz de capturar esta variação, possibilitando o escalonamento do plantio dos cormos.

1.2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi desenvolver um modelo robusto¹ de fenologia para a cultura do gladiolo com aplicações a campo. Para ter aplicações práticas, o modelo deve descrever a

¹ Um modelo robusto é aquele que tem bom desempenho em diferentes condições com um reduzido número de coeficientes

data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento, incluindo o ponto de colheita, a vida de vaso das hastes e o efeito das altas e baixas temperaturas na qualidade das espigas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. IMPORTÂNCIA DA FLORICULTURA BRASILEIRA

O mercado de flores e plantas ornamentais brasileiro vem crescendo cerca de 8 – 10% anualmente em termos quantitativos e de 12 – 15% nos valores comercializados (TOMBOLATO et al., 2010). Mesmo com a crise econômica, a perspectiva é que o mercado de flores feche o ano de 2015 com crescimento de 8%. Este crescimento, mesmo com o cenário de retração econômica do país, se deve à venda de flores e plantas ornamentais em grandes cooperativas ser feita por contratos com pelo menos um ano de antecedência. Isso se dá pela ampliação do hábito de consumir flores, que, comparado aos padrões mundiais ainda é baixo (TORRES, 2015) (cerca de R\$ 26,28 per capita por ano), mas está em expansão, com uma taxa de crescimento em torno de 7% ao ano (IBRAFLOR, 2015). O Produto Interno Bruto (PIB) da cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais do Brasil em 2014 foi de R\$ 4,5 bilhões (LIMA JÚNIOR et al., 2015).

O crescimento da base produtiva se dá principalmente pela inclusão de novos pólos geográficos regionais de produção de flores, desenvolvimento de pesquisas, ofertas de linhas de crédito e programas de assistência técnica que incentivam a produção (JUNQUEIRA; PEETZ, 2008). Porém, a produção brasileira ainda não é auto-suficiente para abastecer o mercado, pois, na maioria dos anos, a balança comercial fecha em saldo negativo (JUNQUEIRA; PEETZ, 2013). Os principais desafios da produção de flores no Brasil são a instabilidade climática, pois muitas vezes eventos extremos causam grandes perdas na produção, elevada necessidade de mão-de-obra, dificuldade de escoamento e distribuição dos produtos, sazonalidade de consumo dos produtos da floricultura, necessitando um calendário de produção e ocasionando grandes variações nos preços (LIMA JÚNIOR et al., 2015).

Um panorama da atual situação da floricultura no estado do Rio Grande do Sul é apresentado por Lima Júnior et al. (2015). Segundo este documento, a área cultivada no estado é de cerca de 1360 ha. Devido ao clima, no RS consegue-se colher somente uma safra da maioria das espécies florícolas. Não é autossuficiente em produção, e aproximadamente 70% do que se consome provém de outros estados, principalmente São Paulo. Essa produção

insuficiente é ocasionada principalmente pela falta de incentivo político. A maioria das propriedades adotam mão de obra familiar e são pequenas, com cerca de 0,5 ha.

Um dos principais produtos exportados pelo Brasil são cormos (principalmente de gladiólo e amarílis), tubérculos, rizomas e similares (cerca de 56% do total das exportações) (JUNQUEIRA; PEETZ, 2013). As bulbosas ornamentais no Brasil são cultivadas e comercializadas para flor de corte, para vasos, paisagismo e jardinagem. Entre as principais flores de corte e vaso, estão a alstroeméria (*Alstroemeria* sp.), amarílis (*Hyppastrum* sp.), copo de leite (*Zantedeschia* sp.), gladiólo (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.), entre outras (TOMBOLATO et al., 2010). Como o mercado da floricultura é bastante dinâmico, as flores de corte mais vendidas variam a cada ano, porém, o gladiólo sempre se mantém entre as dez mais comercializadas. Além disso, esta espécie foi importante para o desenvolvimento da floricultura brasileira, pois foi inicialmente cultivada pelos holandeses no Brasil para fins comerciais (BARBOSA et al., 2011).

2.2. CULTURA DO GLADIÓLO

2.2.1. Descrição botânica

O gladiólo (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.) ou Palma-de-Santa-Rita pertence à família Iridaceae e a maioria das espécies são nativas do Sul da África e das regiões do Mediterrâneo. O nome do seu gênero provém do latim “Gladius”, que significa espada, em alusão ao formato laminar de suas folhas (TOMBOLATO; CASTRO; MATTHES, 2002). É uma planta herbácea bulbosa (BARBOSA et al., 2011) e as variedades cultivadas no Brasil são híbridos, sendo a espécie *Gladiolus x grandiflorus* Hort. a mais cultivada, que corresponde a um híbrido de flores grandes (PAIVA et al., 2012). É comercialmente utilizada como flor de corte, das quais aproximadamente 70% são destinadas ao mercado interno e o restante à exportação (RUPPENTHAL; CONDE; CASTRO, 2005). É amplamente utilizada para a confecção de vasos e arranjos florais para ornamentação de cerimônias e como planta de jardim (TRINKLEIN, 2005). Nos últimos anos, vem se expandindo a produção de cormos de gladiólo, também denominados cormos, sendo que cerca de 40% da produção é exportada, constituindo um dos principais produtos exportados pelo mercado de flores e plantas ornamentais brasileiro (TOMBOLATO et al., 2010).

Os cormos são a forma de propagação da cultura. Em virtude das plantas nativas do sul da África terem sido expostas à estação seca, os cormos acumulavam reservas as quais

mantinham o cormo dormente até que seu crescimento fosse retomado após o início da estação chuvosa (TRINKLEIN, 2005). As reservas são acumuladas entre os feixes vasculares e a epiderme, de forma compacta (BARBOSA et al., 2011). Os cormos de gladiolo vivem por apenas um ano, porém, durante este período, inicia-se a formação de um novo cormo (cormo filho) sobre o cormo mãe, que vai perdendo suas reservas e morre. Um grande número de pequenos cormos formam-se na base do novo cormo, denominados cormilhos (TRINKLEIN, 2005). Os cormos tem por objetivo a produção de flores de corte e os cormilhos, o plantio comercial para a produção de novos cormos (ROSA et al., 2014). Com o plantio de um cormo, pode-se formar uma ou mais plantas, pois de um cormo mãe podem se formar um ou mais cormos filhos (GREVING, 1987), os quais formam, cada um, uma inflorescência. Os cormos são envolvidos por catáfilos, que são formados a partir da base das folhas velhas e na base dos cormos desenvolvem-se raízes fasciculadas (TOMBOLATO, 2004).

O cormo contém os primórdios das primeiras 3 – 4 folhas verdadeiras da planta e, após o plantio, o ápice meristemático diferencia as folhas restantes e o número final de folhas depende de cada cultivar (SHILLO; HALEVY, 1976b), geralmente variando de 7 a 13. As folhas são alongadas, lanceoladas, com cutícula cerosa e nervuras paralelinérveas (STRECK et al., 2012). A parte comercial de interesse são as espigas, em que seus botões florais, denominados floretes, estão dispostos aos pares sobre um eixo primário (ráquis) protegidos por brácteas, formando uma inflorescência do tipo espiga (SCHWAB et al., 2015a). A abertura dos floretes se dá no sentido acropetal (da base ao ápice) (SHILLO; HALEVY, 1976c). Após o florescimento, podem se formar frutos em forma de cápsulas com pequenas sementes aladas no seu interior, porém, estas somente são utilizadas em programas de melhoramento genético (PAIVA et al., 2012).

2.2.2. Importância agrônômica

A facilidade de cultivo a céu aberto, com tolerância a pragas e doenças, ciclo curto, baixo custo de implantação, possibilidade de cultivo em pequenas áreas, rápido retorno financeiro e alto valor de venda do mercado são as principais razões que levaram o gladiolo a se tornar uma das mais populares flores de corte brasileira (BARBOSA et al., 2011). A cultura se adapta bem em vários tipos de solos e, preferencialmente deve ser cultivado a pleno sol. Seus híbridos possuem uniformidade, espigas grandes, atingindo até 24 floretes, sendo estes grandes, brilhosos, de cores atrativas e com longa vida de vaso (até duas semanas). Por isso, é amplamente utilizado por floristas e decoradores na composição de arranjos e vasos,

usados para enfeitar interiores, e em ocasiões especiais, como datas festivas, e para confecção de coroas de flores, visto que é tradicionalmente utilizado na ornamentação de túmulos no dia de Finados (BARBOSA et al., 2011).

O número de cultivares disponíveis no mercado é grande, o que oferece ao produtor possibilidade de escolher variadas cores, formatos de floretes e tamanho de ciclo (TOMBOLATO; CASTRO; MATTHES, 2002). Essa introdução de novas cultivares no mercado, de cores diferenciadas, proporcionou o crescimento do mercado de gladiólo que havia sofrido uma retração nas últimas décadas (TOMBOLATO et al., 2010). Para iniciar o cultivo de gladiólo, é importante escolher um local de plantio próximo ao mercado consumidor (BARBOSA et al., 2011). A produção intensiva e contínua da cultura na mesma área não é recomendada, pois pode favorecer o desenvolvimento de doenças fúngicas (a fusariose e a ferrugem são as principais) e populações de insetos e ácaros em níveis prejudiciais para a cultura (TOMBOLATO, 2004).

A maior parte da produção é realizada a céu aberto, embora haja produção em ambiente protegido. O seu plantio pode ser realizado em qualquer época do ano, desde que a temperatura média não fique fora da ideal para a cultura (10 – 25°C) (TOMBOLATO, 2004) e não ocorram geadas (BARBOSA et al., 2011). Porém, no Brasil, como o principal mercado de gladiólo é no feriado de Finados (2 de Novembro), o plantio é predominantemente realizado durante a segunda metade de julho até início de agosto, para que o R2 (ponto de colheita) ocorra 2 – 4 dias antes do feriado, para se ter hastes de gladiólo prontas para comercialização nesta data (SCHWAB et al., 2015b). Para o dia de Finados, são comercializadas flores de todas as cores, mas a preferência é pelas de cor branca. Já no Natal, há uma preferência por flores da cor vermelha e no Ano Novo das cores branca e amarela (BARBOSA et al., 2011).

Uma importante característica da cultura é a possibilidade de ser colhida em estágio de botão fechado, o qual se abre após alguns dias em vaso com água (NOWAK; GOSZCZYNSKA; RUDNICKI, 1991; TOMBOLATO et al., 2005). Essa característica permite que, se as hastes estiverem prontas para a colheita antes do pico de comercialização, elas podem ser colhidas e armazenadas em câmara fria. Após o armazenamento, com a exposição das hastes à temperatura ambiente, os botões abrem normalmente (BURG, 2004). Um cuidado que se deve ter na colheita é manter as hastes na posição vertical, a fim de evitar sua deformação em função do geotropismo negativo. Já a colheita dos cormos e cormilhos ocorre quando as plantas estão totalmente secas (TOMBOLATO, 2004).

2.2.3. Aspectos fitotécnicos da cultura do gladiólo

A cultura do gladiólo é de fácil manejo, podendo ser cultivado em pequenas áreas, com baixo custo de implantação e rápido retorno financeiro, devido a seu ciclo curto (TOMBOLATO, 2004). Os cormos pequenos ou cormilhos (com perímetro menor do que 10 cm) são cultivados para a produção de novos cormos. Os médios (com perímetro entre 10 – 14 cm) e grandes (14 – 18 cm) são utilizados para a produção de hastes (PAIVA et al., 2012). Nos experimentos, foram utilizados cormos previamente vernalizados com perímetro entre 14 – 16 cm.

O pH do solo deve ser mantido na faixa de 6,0 a 7,0, pois, em pH inferior a 5,0 e superior a 7,0, pode ocorrer danos a cultura. Foi realizado uma análise de solo em 2011, antes do início dos experimentos de campo e, segundo as indicações técnicas, foi incorporado ao solo uma dose de 5 t ha⁻¹ de calcário (PRNT = 76%) para elevar o pH do solo a 6,5. Em seguida, a área foi encanteirada e o gladiólo foi cultivado em canteiros de 17 m de comprimento e aproximadamente 60 cm de altura, espaçados 1 m entre si.

Em 2013, antes do início do terceiro experimento em Santa Maria, foi realizada uma nova análise de solo e aplicado uma dose de 4 t ha⁻¹ de calcário (PRNT = 76%). Em 2014, para os experimentos em Itaqui e Frederico Westphalen, também foi aplicado uma dose de 4 t ha⁻¹ de calcário em Itaqui (PRNT = 76%) e 1,6 t ha⁻¹ em Frederico Westphalen. A aplicação foi realizada antes do início dos experimentos, aproximadamente um mês antes do plantio dos cormos. No experimento na lavoura comercial não foi aplicado calcário pois os tratamentos culturais e a adubação foram de acordo com o manejo adotado pelo produtor.

A dose de adubo utilizada nos experimentos (com exceção da lavoura comercial) foi de 500 kg ha⁻¹ da fórmula 5 – 20 – 20, que foi 100% aplicado na linha no momento do plantio. O adubo foi colocado a aproximadamente 15 cm de profundidade e coberto com uma camada de solo de aproximadamente 5 cm, para evitar o contato direto do adubo com os cormos. Os cormos foram plantados a uma profundidade de 10 cm a um espaçamento de 20 cm entre cormos e 40 cm entre linhas, no sistema de linhas pareadas. Já na lavoura comercial, foi aplicado adubação orgânica na forma de esterco de aves antes do plantio.

Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada parcela continha 10 plantas, das quais as 6 centrais foram utilizadas para acompanhamento da fenologia da cultura. As parcelas estavam espaçadas a 40 cm entre si e as repetições 1 m. O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente através de capinas entre os canteiros e entre as repetições e arranquio manual entre plantas.

O Nitrogênio na cultura do gladiolo é responsável pelo número de hastes florais e número de botões florais produzidos por haste (TOMBOLATO, 2004). De acordo com a literatura pesquisada (SCHWAB et al., 2015a), é indicado realizar a adubação nitrogenada quando as plantas estiverem com 3 – 4 folhas, momento em que a espiga inicia seu desenvolvimento no interior do cartucho (SHILLO; HALEVY, 1976c). Neste estágio foi aplicado uma adubação nitrogenada de cobertura na forma de uréia, na dose de 350 kg ha⁻¹, com exceção dos experimentos em Curitibanos e na lavoura comercial. No experimento em Curitibanos, foi aplicado 75% da dose de uréia em cobertura, pois o teor de matéria orgânica do solo era maior. Na lavoura comercial foi aplicado Cloreto de Potássio em cobertura.

A cultura do gladiolo é afetada pela restrição hídrica, que pode comprometer a qualidade das hastes (SEVERINO, 2007) e influenciar na duração do ciclo de desenvolvimento (PAIVA et al, 2012). Os estágios mais sensíveis são entre a emissão da 1^o e da 4^o folha, pois neste período ocorre iniciação dos floretes e diferenciação dos órgãos reprodutivos (SHILLO; HALEVY, 1976d). Devido a isso, os experimentos em Santa Maria foram conduzidos com sistema de irrigação por gotejamento, o qual é considerado o mais adequado para a cultura (SEVERINO, 2007).

As plantas foram tutoradas com fios de ráfia presos a estacas de bambu localizadas nas extremidades dos canteiros. Esta prática de manejo foi adotada para evitar que as hastes sofram danos pelo vento, que pode causar seu entortamento irreversível, depreciando a qualidade do produto (PAIVA et al, 2012).

Dentre as principais doenças fúngicas da cultura, estão a fusariose e a ferrugem e as principais pragas são as lagartas, pulgões, cochonilhas, etc (TOMBOLATO, 2004; PAIVA et al., 2012). Nos experimentos, foram feitas aplicações preventivas de fungicida e inseticida, principalmente para controle da ferrugem e lagarta. As aplicações de fungicida foram mais frequentes nos meses mais úmidos do ano e as de inseticida nos meses mais quentes, quando a pressão das doenças e das pragas eram maiores. Em algumas épocas dos experimentos foi registrado a ocorrência de fusariose e o ataque de pulgões.

2.2.4. Influência de variáveis meteorológicas na cultura do gladiolo

As cultivares de gladiolo são classificadas pelo período de tempo entre o plantio e o florescimento, sendo que este período é influenciado principalmente pela temperatura do ar (SHILLO; HALEVY, 1976a; STRECK et al., 2012). Outro fator que afeta o desenvolvimento do gladiolo em menor escala é o fotoperíodo, sendo considerada uma planta de dia curto

facultativo (SHILLO; HALEVY, 1976b). É uma planta que precisa ser cultivada a pleno sol, pois é altamente sensível à restrição luminosa (BARBOSA et al., 2011). A diferença de ciclo das cultivares se dá em função da duração da fase de emissão de folhas, ou seja, quanto mais precoce a cultivar, menor a duração da fase de emissão de folhas (STRECK et al., 2012).

As plantas de gladiolo se adaptam melhor a um clima ameno com temperatura de 10 – 25°C de dia e 16 – 18°C à noite; porém, podem tolerar temperaturas acima de 50°C, desde que a umidade do ar e do solo esteja em nível ótimo (LIM, 2014; SHILLO; HALEVY, 1976a). Entretanto, num estudo realizado durante os meses de verão (dezembro e janeiro), em Santa Maria, foi verificado que temperaturas altas afetaram a qualidade das espigas de gladiolo, ocasionando queimaduras nas sépalas, murchamento e deformação das hastes, resultando em redução da qualidade do produto (SCHWAB et al., 2015b). Esse aspecto qualitativo é importante, pois pode tornar as hastes de gladiolo impróprias para comercialização (se apresentarem queimadura com diâmetro maior do que 1 cm), segundo os critérios de um importante mercado de flores brasileiro (VEILLING HOLAMBRA, 2013). Os estágios imediatamente depois do plantio e um pouco antes da emergência da espiga são os mais sensíveis a temperaturas elevadas (LIM, 2014).

As plantas de gladiolo são intolerantes à geada (LIM, 2014). Em condições de baixa intensidade luminosa no inverno, baixas temperaturas (1 – 4°C) prejudicam a diferenciação da haste floral (SHILLO; HALEVY, 1976a). A sensibilidade a baixas temperaturas ocorre principalmente em dois estágios, logo após o plantio, que causa inibição do crescimento, e próximo da sétima folha, causando redução do número de floretes por espiga (SHILLO; HALEVY, 1976a). Em virtude da influência da temperatura no desenvolvimento do gladiolo e na qualidade das hastes, as épocas mais indicadas para produção de hastes de gladiolo na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul são final do inverno e início da primavera (julho, agosto e setembro) e no final do verão e início do outono (fevereiro, março e abril) (SCHWAB et al., 2015b).

Os cormos de gladiolo apresentam dormência, não germinando se forem plantados logo após a colheita, sendo que a dormência pode ser quebrada em condições naturais ou em câmara fria (PAIVA et al., 2012). A temperatura recomendada para armazenamento dos cormos de gladiolo é de 5°C (SHILLO; SIMCHON, 1973). Essa estratégia é importante para programação da floração e controle da brotação dos cormos (BARBOSA et al., 2011).

A temperatura para o armazenamento das flores originárias de região subtropical como o gladiolo é de 4 – 7°C, pois em temperaturas mais baixas podem ocorrer danos pelo frio (NOWAK; GOSZCZYNSKA; RUDNICKI, 1991). As hastes podem ser armazenadas e

preservadas em atmosfera normal (20,9 kPa O₂ + 0,04 kPa CO₂) por 5 - 8 dias a uma temperatura de 2 - 5°C e em condições de atmosfera modificada podem ser armazenadas a temperaturas mais baixas. Após o armazenamento, com a exposição das hastes à temperatura ambiente, os botões abrem normalmente (BURG, 2004).

2.2.5. Escala de desenvolvimento para a cultura do gladiolo

Uma escala fenológica para a cultura do gladiolo (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.) foi proposta por Schwab et al. (2015a), com objetivo de descrever os estágios de desenvolvimento da cultura com aplicação a campo, pois adota critérios simples, visíveis a olho nu e não destrutivos. Nesta escala, é proposta a divisão do ciclo de desenvolvimento do gladiolo em quatro fases: fase de dormência dos cormos, fase de brotação (do aparecimento das raízes filiformes ao aparecimento dos catáfilos), fase vegetativa (do aparecimento da primeira folha até o aparecimento da última folha) e fase reprodutiva (do início do espigamento até a planta senescente). Cada fase ainda foi subdividida em estágios, sendo que os estágios da fase de dormência e da fase de brotação foram codificados como estágios S, os da fase vegetativa codificados como estágios V, e os da fase reprodutiva, como estágios R.

Durante a fase de dormência (S0), o cormo permanece em repouso vegetativo devido à ação de inibidores de crescimento. Isso permite sua sobrevivência em condições adversas de campo, como seca e altas temperaturas. A fase de brotação inicia logo após o plantio dos cormos, quando, em condições ideais de temperatura e umidade, se inicia a formação das raízes filiformes na base do cormo (S1). Na sequência, inicia-se o desenvolvimento do broto na parte superior do cormo, com o aparecimento dos catáfilos, que são as folhas da bainha reduzidas com a função de proteção das folhas verdadeiras. O broto inicialmente apresenta um catáfilo (S2.1) e pode chegar até quatro (S2.4).

A fase vegetativa (estágios V) inicia com a emergência da cultura, que ocorre quando o broto é visível acima da superfície do solo (VE). Na maioria das vezes, o que se exterioriza acima do solo são os catáfilos. Após algum tempo, ocorre o aparecimento da primeira folha, momento em que a lâmina da primeira folha é visível (estágio V1). Sucessivamente, irá ocorrer o aparecimento da segunda folha (V2), terceira folha (V3) até a enésima folha verdadeira visível (Vn). No estágio V3, ocorre a diferenciação da espiga floral dentro do cartucho, momento recomendado para a aplicação da adubação nitrogenada. Praticamente ao mesmo tempo em que a haste floral se exterioriza tornando-se visível no cartucho da planta,

ocorre a emissão da última folha (VF), que poderá ser desde a 7° até a 12°. Quando o número final de folhas é definido, a fase vegetativa acaba e inicia-se a fase reprodutiva.

A fase reprodutiva (estágios R) inicia-se com o aparecimento da ponta da espiga floral no cartucho (estágio R1.0). Na sequência, a metade da espiga fica visível no cartucho (R1.1), momento em que a ponta da espiga está nivelada com a folha bandeira. Após, ocorre o espigamento completo (R1.2), quando é possível visualizar o pedúnculo da espiga. Após o espigamento, a ráquis vai se alongando, aumentando a distância entre os floretes. O florescimento prossegue acropetalmente e quando os três primeiros botões da parte inferior da espiga mostram a cor é o ponto de colheita das hastes de gladiólo (estágio R2), recomendado para cultivos comerciais.

Quando a corola do primeiro florete da espiga abre e torna visíveis as anteras é o início da antese (estágio R3). A abertura dos floretes da espiga prossegue até a abertura do botão localizado na porção média da espiga (R3.4). Quando o primeiro florete da parte inferior da espiga senesce, inicia-se a senescência da haste floral (R3.5). A abertura e senescência dos floretes prosseguem até a senescência do florete localizado na porção média da espiga (estágio R3.6), momento em que todos os floretes abaixo deste já estão senescentes. A antese acaba com a abertura do último florete da espiga (estágio R4) e a senescência completa da haste floral se dá com a senescência do último florete da espiga (estágio R5).

Assim, acaba a vida da haste (se ela permanecer no campo) ou a vida de vaso da haste (se a haste for cortada), porém, há ainda a translocação dos fotoassimilados das folhas verdes para o novo corno e cormilhos, nos casos em que a planta permanece no campo. A planta completa seu ciclo de desenvolvimento com a senescência total da parte aérea (folhas e haste) (estágio R6). Neste estágio, é recomendada a colheita dos cormos e cormilhos, pois seu tamanho e número máximo já foram definidos.

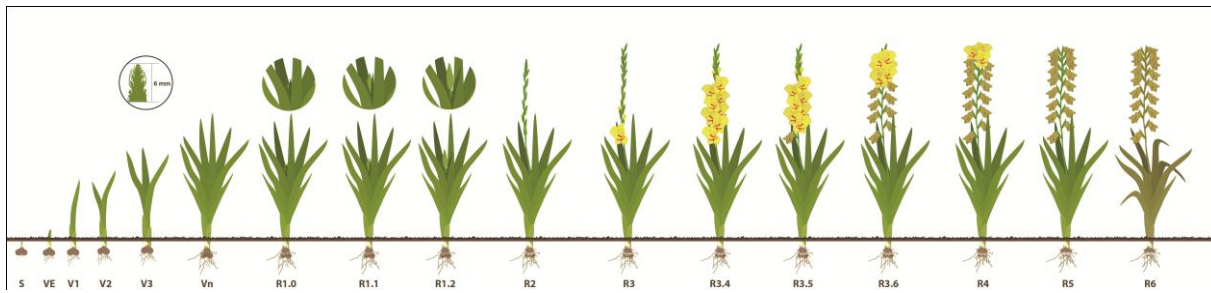
Na Tabela 1 é apresentado resumidamente a descrição dos estágios fenológicos propostos pela escala de desenvolvimento para a cultura do gladiólo e na Figura 1 é apresentada uma ilustração da sequência do desenvolvimento em gladiólo proposto pela escala fenológica, de acordo com Schwab et al. (2015a).

Tabela 1 – Escala de desenvolvimento para gladiolo.

Fase	Estágio	Código	Descrição	
Dormência	Cormo Dormente	S0	O cormo se mantém dormente pela ação de inibidores de crescimento, como ácido abscísico como estratégia que possibilita a sobrevivência da estrutura em condições adversas, tais como frio e baixa umidade. A dormência pode ser quebrada artificialmente pelo uso de armazenamento à frio.	
	Aparecimento das raízes	S1	Raízes filiformes começam a aparecer na base do cormo a partir de nódulos radiculares.	
Brotação	Aparecimento do primeiro catáfilo	S2.1	O desenvolvimento do broto promove o deslocamento das escamas no ápice do cormo. Há um catáfilo presente no broto.	
	Aparecimento do segundo catáfilo	S2.2	O broto ultrapassa as escamas no ápice do cormo. Há dois catáfilos presentes no broto.	
	Aparecimento do terceiro catáfilo	S2.3	O broto apresenta três catáfilos.	
Vegetativa	Emergência	VE	Plântula visível acima da superfície do solo, composta de 3 a 4 catáfilos.	
	Primeira folha	V1	Primeira folha verdadeira visível.	
	Segunda folha	V2	Segunda folha verdadeira visível.	
	Terceira folha	V3	Terceira folha verdadeira visível. Nesse momento inicia o desenvolvimento da espiga floral no interior do cartucho (R0).	
	Enésima folha	Vn	Enésima folha verdadeira visível.	
	Folha bandeira	VF	Folha bandeira visível.	
Reprodutiva	Espigamento	R1.0	Início da espiga visível.	
		R1.1	Metade da espiga visível.	
		R1.2	Espiga completamente visível no cartucho.	
	Desenvolvimento dos botões florais	R2	Primeiros três botões na parte inferior da espiga mostram a cor da corola. Este é o ponto de colheita comercial.	
		R3	A corola do primeiro florete na parte inferior da espiga aberto e com anteras visíveis.	
	Metade da antese	R3.4	A corola do florete localizado na porção média da espiga apresenta anteras visíveis.	
	Início da senescência da haste floral	R3.5	Primeiro florete na parte inferior da espiga inicia a senescência.	
		Metade da senescência da haste floral	R3.6	Quando o florete localizado na porção média da espiga inicia a senescência. Os floretes localizados abaixo deste senesceram.
			R4	A corola do último florete da espiga apresenta anteras visíveis (antese concluída).
	Final da antese	R5	Último florete da espiga apresenta senescência. A corola de todos os floretes senesceu. Após a floração, e se as condições meteorológicas (temperatura e radiação solar) forem favoráveis, há o crescimento do novo cormo e dos cormilhos.	
	Senescência completa da haste floral	R6	A planta apresenta senescência completa da parte aérea (planta seca ou morta), o tamanho máximo do cormo e número máximo de cormilhos são definidos.	

Fonte: Adaptação de Schwab et al. (2015a).

Figura 1 - Sequência dos estágios de desenvolvimento da cultura do gladiólo.



Fonte: Adaptação de Schwab et al. (2015a).

2.3. MODELOS DE SIMULAÇÃO DAS CULTURAS AGRÍCOLAS

Os modelos matemáticos de simulação das culturas agrícolas são uma simplificação da realidade pois descrevem os fenômenos naturais que levam ao crescimento e desenvolvimento das plantas considerando um reduzido número de processos (STRECK et al., 2013). Para isso, utilizam equações que expressam a taxa de desenvolvimento de cada fase em função de variáveis ambientais, como temperatura, umidade, fotoperíodo, radiação, entre outras (SCHAYKEWICH, 1995). Escolher um modelo com significado biológico, que se baseie em relações fundamentais entre taxa de desenvolvimento e variáveis ambientais é importante para estimar o tempo requerido para a cultura passar pelos diferentes estágios de desenvolvimento até a maturidade (SCHAYKEWICH, 1995). Por isso, os modelos de simulação das culturas (*crop models*) vem sendo amplamente utilizados como ferramentas para aplicações práticas, como auxiliar no manejo de culturas agrícolas, previsão e acompanhamento de safra e em estudos do impacto da mudança climática no crescimento e desenvolvimento das culturas (STRECK et al., 2013).

Quanto à natureza de descrição dos processos, os modelos agrícolas são divididos em modelos empíricos e mecanísticos (STRECK et al., 2013). Os primeiros são caracterizados pela utilização de relações estatísticas em suas funções matemáticas, já os mecanísticos tem na sua essência funções matemáticas que descrevem processos (modelos baseados em processos ou *process-based models*) (STRECK et al., 2013).

Em relação aos efeitos da temperatura nas culturas, os modelos de desenvolvimento vegetal podem ser divididos em modelos lineares e não-lineares. Os modelos lineares usam o conceito da soma térmica, que pressupõem a existência de uma temperatura-base específica para cada cultura, abaixo da qual a planta não se desenvolve. Como vantagens da soma

térmica estão a simplicidade de cálculo e esse método é uma medida mais eficaz que dias do calendário civil ou dias após a semeadura (STRECK, 2002a). Porém, na maioria dos métodos de cálculo da soma térmica é assumida uma resposta linear do desenvolvimento à temperatura, o que não é totalmente realístico do ponto de vista biológico da planta. Uma das maneiras de contornar esse problema é o uso de modelos multiplicativos que empregam funções de resposta não lineares para representar o efeito dos fatores abióticos sobre o desenvolvimento vegetal (STRECK et al., 2003a,b).

Um modelo matemático não linear que vem sendo bastante usado é o modelo de Wang e Engel (1998). Esse modelo foi primeiramente proposto e avaliado para a cultura do trigo e foi modificado para simulação do desenvolvimento de trigo de inverno (STRECK et al., 2003a) e após foi testado em diversas outras culturas como a batata (STRECK et al., 2007), milho (STRECK et al., 2008b), arroz (LAGO et al., 2008), entre outras. O modelo teve melhor desempenho que o método da soma térmica para simular a emissão de folhas em diversas culturas como o melão (STRECK, 2002a), kiwi (STRECK, 2003), milho (STRECK et al., 2010), arroz (STRECK et al., 2008a) e mandioca (SAMBORANHA et al., 2013).

A maioria dos esforços em modelagem agrícola atualmente visam descrever o crescimento e o desenvolvimento de grandes culturas, e poucos registros foram encontrados na literatura de utilização de modelos matemáticos para culturas ornamentais (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998).

2.3.1. Modelagem de espécies ornamentais

Os modelos agrícolas são importantes em horticultura pois os produtores precisam realizar um calendário de produção para se adequar às exigências do mercado, pois a procura e o preço de flores de corte e plantas de vaso são maiores durante períodos curtos e específicos do ano, como dia dos namorados, dia das mães, Natal, entre outros (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998). Os modelos precisam ter aplicação prática para servirem de ferramenta para auxiliar nas práticas de manejo a campo, como momento de aplicação da adubação nitrogenada, irrigação, controle de doenças e planejamento da data de colheita (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998). Para isso, devem ser fáceis de usar e utilizar como dados de entrada variáveis facilmente obtidas, como temperatura, radiação, precipitação, entre outras (LENTZ, 1998). Um dos maiores desafios da modelagem de culturas ornamentais é a grande diversidade de espécies e genótipos, heterogeneidade dos sistemas de cultivo e a importância de considerar a qualidade dos produtos nos modelos, pois

este é um dos principais parâmetros avaliados na formação do preço dos produtos (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998).

A maioria dos trabalhos envolvendo modelagem matemática tem se concentrado em grandes culturas. Os trabalhos com culturas ornamentais são limitados a um pequeno número de espécies e empregam funções voltadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas, e poucos modelam as interações entre cultura, pragas e doenças em horticultura (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998). A maior parte dos trabalhos é conduzido em estufas, com controle principalmente da temperatura, pois é o principal fator que influencia o desenvolvimento e parâmetros de qualidade das plantas, como número de flores, tamanho, número de ramificações, entre outros (MOCCALDI; RUNKLE, 2007). Há poucos registros de modelos calibrados e avaliados em condições de cultivo a céu aberto, que constitui a maior parte de produção de flores brasileira.

Alguns trabalhos com espécies ornamentais envolvendo modelagem matemática empregam funções não-lineares para estudar a influência dos fatores ambientais no crescimento e no desenvolvimento das espécies a fim de prever o rendimento, auxiliar no manejo e principalmente auxiliar o produtor no planejamento da data de florescimento (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998). Um modelo que empregou taxa de desenvolvimento, uma função de temperatura, fotoperíodo e resposta à vernalização foi desenvolvido para *Brunonia australis* e *Calandrinia* sp. a fim de prever a duração do ciclo do plantio até o primeiro botão floral visível e do primeiro botão visível até a antese (CAVE et al., 2013). Para estas espécies, segundo os autores, a temperatura é o principal fator ambiental que influencia a taxa de desenvolvimento nessas fases de desenvolvimento durante o cultivo.

Adams; Pearson; Hadley (1997) desenvolveram um modelo para investigar a resposta do florescimento de *Viola x wittrockiana* à temperatura, fotoperíodo e luz para plantas crescendo em comprimentos de dia natural e controlado. Os autores concluíram que a taxa de florescimento aumenta linearmente com a temperatura, até uma temperatura ótima, e com o aumento do fotoperíodo e que a taxa de progresso do florescimento aumenta com a adição de uma função linear de luz integral. Outro modelo que estudou o efeito da temperatura e do fotoperíodo na taxa de crescimento e desenvolvimento de dahlia (*Royal Dahlietta Yellow*) foi proposto por Brondum e Heins (1993), no qual concluíram que há condições restritas para o florescimento ideal da espécie, que se dá a um fotoperíodo de 10-14h e uma temperatura de aproximadamente 20°C.

Um modelo foi desenvolvido para descrever a relação entre desenvolvimento floral, temperatura e resposta de um grupo de cultivares em casa de vegetação para chysanthemum

(*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.). A taxa de desenvolvimento foi expressa como uma função de desenvolvimento máxima (r_{max}), que foi multiplicado por uma função de temperatura e uma função de luz. Foi encontrado como resultados do estudo uma ampla variação da resposta à temperatura entre diferentes cultivares, sugerindo a utilização de modelos cultivar-específicos na produção comercial (LARSEN; PERSSON, 1999). Moccaldi e Runkle (2007) calibraram um modelo para prever os efeitos da temperatura e regime integral de luz diária no crescimento e florescimento de tagetes (*Tagetes patula* L.) e salvia (*Salvia splendens* F. Sello) em diferentes ambientes, analisando ciclo da cultura, massa seca e número de flores. Para violeta africana (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) foi desenvolvida uma função matemática geral, como menor número de coeficientes, para descrever a resposta do crescimento e desenvolvimento foliar à temperatura (STRECK, 2002b).

Pramuk; Runkle (2005) modelaram o crescimento e desenvolvimento de celosia (*Celosia argentea* L.) e impatiens (*Impatiens walleriana* Hook.) em estufas numa faixa de temperatura e luz integral diária. Concluíram que os modelos podem ser usados para prever o tempo de florescimento e simular os impactos da mudança de temperatura no crescimento e desenvolvimento das plantas, que se dá através do cultivo das plantas em diferentes épocas do ano e promovendo luz suplementar. Com objetivo muito próximo, outro trabalho quantificou o efeito da temperatura média diária do ar na taxa de florescimento para 18 espécies de plantas anuais. As informações obtidas podem auxiliar na predição do tempo de florescimento destas culturas ornamentais e auxiliar produtores a determinar a produção (BLANCHARD; RUNKLE, 2011).

Alguns modelos usaram funções de resposta lineares à temperatura para espécies como *Rosa* L. (STEININGER; PASIAN; LIETH, 2002), *Lilium longiflorum* Thumb (ERWIN; HEINS, 1990), *Euphorbia pulcherrima* Willd (LIU; HEINS, 2002), *Campanula carpatica* Jacq. e *Campanula* 'Birch Hybrid' (NIU et al., 2001).

Apesar da importância dos modelos matemáticos em auxiliar os produtores no planejamento de práticas de manejo a campo e prever a data de colheita de flores de corte, como o gladiolo, modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento de gladiolo não foram encontrados na literatura.

3. ARTIGO 1

PhenoGlad: a model for simulating development in gladiolus²

² Artigo formatado nas normas da revista European Journal of Agronomy.

ABSTRACT

Crop simulation models are important tools to help farmers in planning management practises and flowering time of cut flowers, like gladiolus (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.). The objective of this study was to develop a robust gladiolus phenology model, named PhenoGlad, for field applications. The model describes the timing of developmental stages, including harvest point, the vase life of gladiolus spikes and the low (chilling) and high (heat) temperature effects on spike quality. The gladiolus developmental model simulates gladiolus phenology using a non-linear temperature response function and, by accumulating daily development rates considering three main phases: corms sprouting phase, vegetative phase, and reproductive phase. Data from nine field experiments conducted during five years (2011 – 2015) in three locations across the Rio Grande do Sul State and in one location in Santa Catarina State, Brazil, were used. These cultivar x planting dates x years x locations experiments provide a rich data set for calibrating and evaluating the gladiolus model. The PhenoGlad model accurately simulated the dynamics of leaf development, final leaf number and the timing of developmental stages using genotype-specific coefficients that can be estimated from thermal time. The performance of the model was improved when the simulations started from emergence compared to when simulations started at the planting date. PhenoGlad showed good stability among cultivars, planting dates, years and sites, with an RMSE of 0.5 leaves for leaf development and final leaf number, 6.5 to 5.0 days for the date of reproductive developmental stages when the model started from planting or from emergence, respectively, and 1.3 days for simulating the vase life of harvested spikes. PhenoGlad was also efficient in predicting the effects of chilling and high temperatures damage on florets.

Keywords: *Gladiolus x grandiflorus* Hort., phenology, developmental stages, crop models, spike quality, floriculture.

3.1. INTRODUCTION

Gladiolus (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.) is native of areas in the Mediterranean, and southern and central Africa, propagated by corms, and commercially grown as a cut flower, with a wide range of colours (Schwab et al., 2015). Crop phenology is the result of complex processes of development at different levels, from cell differentiation, organ initiation (morphogenesis) and extends to plant senescence (Hodges, 1991). Both genetic and environmental (biotic and abiotic) factors affect crop phenology (Jones and Kiniry, 1986; Bouman et al., 2004; Setiyono et al., 2007, 2010). The main abiotic factor that drives gladiolus phenology in the field is air temperature (Schillo and Halevy, 1976a; Streck et al., 2012). Minor factors such as photoperiod may also affect development, but gladiolus is considered a facultative short-day plant (Schillo and Halevy, 1976b). According to Adil et al. (2013), planting date has an important role in regulating growth and quality of field grown gladiolus and is responsible for strong positive correlation between temperature and developmental parameters, like days to germination, sprouting percentage and days to the 6-leaf stage. Akpinar and Bulut (2011) conducted studies with different gladiolus species planted in open field in three growing seasons in order to define the most suitable species for flower yield and quality. The authors concluded that climatic factors, such as temperature and light intensity are major factors that drive development and yield of gladiolus.

Extreme temperatures (low and high) can cause damage to gladiolus vegetative and reproductive parts (Schillo and Halevy, 1976a). Freezing temperatures during the vegetative phase cause leaf injury whereas during reproductive phase cause severe corolla damage. Leaves are more tolerant to high temperature (36 - 40°C) (Schillo and Halevy, 1976a; International Flower Bulb Centre, 2011) than florets, which can be injured at temperatures above 25°C (International Flower Bulb Centre, 2011) associated with low air moisture and low light intensity (Schillo and Halevy, 1976a).

Crop simulation models are simple representations of complex processes that drive growth and develop during the growing season (Lentz, 1998). In crop models, processes that compose the system (plant) are described using mathematical functions, which contain genetic and environmental parameters that affect biological processes (Prusinkiewicz, 2004). Therefore, crop simulations models are suitable tools in studies of growth and development of crops in response to the environment (Penning de Vries et al., 1989). Furthermore, crop models provide quantitative information from which management decisions, such as irrigation, fertilization and pest control, can be taken at the field scale (Gary et al., 1998).

With regard to temperature effects on crops, there are basically two approaches used in crop models: linear and nonlinear models. Linear models assume a linear relationship between temperature and rate of crop development, and this relation is not completely realistic from the biological viewpoint (Streck et al., 2008). Nonlinear models are more realistic because they use a non-linear relationship between temperature and rate of crop development, which is more biologically sound (Landsberg, 1997). The nonlinear effect of environmental factors on the rate of crop development using a multiplicative approach for combining genetic and environmental factors was used in the Wang and Engel (WE) model for wheat (Wang and Engel, 1998; Streck et al., 2003a, b). This approach has been used to simulate the development of several agricultural crops (Setiyono et al., 2007, 2010; Streck et al., 2007, 2008, 2009, 2011).

Most of crop modeling efforts have been dedicated to grain crops, and only a few for ornamental crops (Gary et al., 1998). Ornamental crop models have a large range of applications, including to assist growers in planning the timing of management practices and to predict flowering time, as growers usually sale their products in markets close to the consumers or for specific holidays and events such as wedding parties and conferences ceremonies. In addition, ornamental crops models should provide information about quality, a major price component of ornamental products (Lentz, 1998).

Models of ornamental species available in the literature include lily (*Lilium longiflorum* Thumb.) (Erwin and Heins, 1990), dahlia (*Dahlia pinnata* Cav.) (Brondum and Heins, 1993), pansy (*Viola x wittrockiana* Gams.) (Adams et al., 1997), chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) (Larsen and Pearson, 1999), *Campanula carpatica* Jacq. ‘Blue Clips’, ‘Deep Blue Clips’ and *Campanula* ‘Birch Hybrid’ (Niu et al., 2001), miniature rose (*Rosa* L. sp.) (Steininger et al., 2002), ‘Freedom’ poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd) (Liu and Heins, 2002), African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) (Streck, 2002), celosia (*Celosia argentea* L.) and impatiens (*Impatiens walleriana* Hook.) (Pramuk and Runkle, 2005), salvia (*Salvia splendens* F.) and marigold (*Tagetes patula* L.) (Moccaldi and Runkle, 2007), 18 bedding plants (Blanchard and Runkle, 2011), and *Brunonia australis* and *Calandrinia* sp. (Cave et al., 2013). The majority of the models developed for the above species are commonly calibrated in greenhouses, not in open air field. No report on a model for gladiolus was found in the literature.

The objective of this study was to develop a robust gladiolus phenology model for field applications. In order to have practical application, the model has to describe the timing

of developmental stages, including harvest point, the vase life of gladiolus spikes, and low and high temperature effects on spike quality.

3.2. MATERIAL AND METHODS

3.2.1. Controlled experiment

A controlled environment experiment was conducted at the Federal University of Pampa (UNIPAMPA), Itaqui, Rio Grande do Sul State (RS), Brazil, part in a growth chamber (PHYTOTRON) and part in a climatic chamber (Model Q315C) with temperature and relative humidity control. Five ambient temperature treatments in the dark (7°C, 16°C, 25°C, 30°C, 35°C) with 10 replications in a completely randomized experimental design were used. Each replication was a 1.7 liter pot filled with horizon A of a soil classified as Ultisol (USDA, 1999). The ambient relative humidity was 80%.

The cultivar used in this experiment was Amsterdam (white florets). Commercial corms previously vernalized with perimeter between 14 and 16 cm were planted in the pots (one corm per pot) at a 10 cm depth. The pots were filled with the soil and put in the chamber 24 hours before the corms planting. The irrigation with tap water was carried out to maintain the soil close to field capacity.

After planting, each pot was observed daily for plant emergence. Emergence date was considered the day when the shoot was first visible above the soil. The emergence date of each temperature treatment was considered when 50% of shoots were visible above the soil. The rate of shoot emergence (day^{-1}) was calculated for each treatment as the inverse of the duration of the sprouting phase (from planting to plant emergence). Emergence rates of different treatments were normalized by dividing the emergence rate of each treatment by the highest emergence rate (optimum temperature), so that all values of emergence rate varied between zero and one.

3.2.2. Field experiments

Field experiments were conducted in three locations (Santa Maria, Itaqui and Frederico Westphalen) across the Rio Grande do Sul State and in one location (Curitibanos) in Santa Catarina State, Brazil, located in the southeast of South America (Fig. 1), during five years (2011 – 2015). Experiments in Santa Maria were irrigated (drip irrigation) whereas

experiments in Itaquí, Frederico Westphalen and Curitiba were rainfed. The experiments in Santa Maria were conducted at the experimental area of the Departamento de Fitotecnia of UFSM (Federal University of Santa Maria), (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 43'W and altitude: 95m), in Itaquí at the experimental area of UNIPAMPA (latitude 29°07'10"S, longitude 56°32'32"W and altitude: 50m), in Frederico Westphalen at the experimental area of UFSM (campus Frederico Westphalen) (latitude: 27° 23' 47.58" S, longitude 53° 25' 41.24" W and altitude: 489m), and in Curitiba at the experimental area of UFSC (Federal University of Santa Catarina) (latitude: 27° 16' 24.45" S, longitude 50° 30' 10.94" W and altitude: 992m). In Santa Maria, an experiment was also conducted in a commercial farm, totaling 9 field experiments with different cultivars, planting dates, and sites (Table 1).

The four locations (Fig. 1) are different in climate and soil conditions. The average annual temperature in Santa Maria is 19.4°C, 20.2°C in Itaquí, 20.4°C in Frederico Westphalen and 16.5°C in Curitiba. The soil in Santa Maria is a transition between a Typic Hapludalf soil and a Rhodic Paleudalf soil, in Itaquí is a Ultisol, in Frederico Westphalen is a Rhodic Hapludox, and in Curitiba is a Hapludcept (USDA, 1999).

A total of ten cultivars of gladiolus were used in the experiment (Table 1). The ten gladiolus cultivars were selected because they are widely grown by commercial farmers and representative of the wide range of colours and developmental cycles of gladiolus cultivars used in Brazil. A wide range of planting dates was used in the experiments, including two years with monthly planting dates (Table 1). These cultivar x planting dates x years x locations experiments provide a rich data set for calibrating and evaluating the gladiolus model.

In all field trials, commercially vernalized corms were planted in beds with two rows, 40 cm among rows and 20 cm among plants within the rows. The planting depth was approximately 10 cm. The experimental design was a complete randomized block design with four replications. Each replication had 10 corms, totaling 40 corms per cultivar. In each experiment, 24 plants of each cultivar were tagged (six plants per replication), and used for measurements. Agronomic practices used by local growers were used during the trials, which included fertilization, according to soil test, weed control (by manual hoeing), diseases and insect control (with chemicals), drip irrigation (experiments in Santa Maria) and supporting plants vertically with a plastic net. The on-farm experiment consisted of six 1 m x 22 m beds, one bed with each cultivar, next to a gladiolus plantation (about 5,000 plants). Management practices in the on-farm experiment were the same as the farmer did in the commercial plantation. No irrigation was used in the on-farm experiment.

3.2.3. Plant and weather data collection in the field experiments

In all field experiments, the date of occurrence of the vegetative (V-stages) and reproductive (R-stages) developmental stages were observed on the tagged plants (6 plants per plot) according to phenological scale of gladiolus (Schwab et al., 2015). Emergence date was considered when at least 50% of the shoots were first visible above the soil. The cumulative leaf number (CLN) was counted twice a week until the final leaf (flag leaf) was visible (VF). When the spike was first visible at the whorl, plants were observed daily and the following developmental stages were recorded (Schwab et al., 2015): R1.0= heading, R2= blooming, R3= onset of anthesis, R3.4= half of anthesis, R3.5= beginning floret senescence, R3.6= half of florets senesced, R4= anthesis completed and R5= end of floret senescence.

Daily weather data were obtained from a conventional weather station of the Brazilian National Weather Service (INMET) located approximately 100 meters from the trials in Santa Maria and from an automated weather station located at about 200 m from the trials in Itaquí, about 50 m from the trials in Frederico Westphalen and about 10 km from the trials in Curitiba. In the on-farm experiment, data were from an automated weather station located 20 m from the trial.

3.2.4. Postharvest experiment

A vase experiment was conducted in October and November 2015 inside a room with ambient temperature and natural light during day time. The objective of this experiment was to test the model in simulating the progress of reproductive development during vase life of gladiolus spikes. Ten floral stems (spikes commercially sold) of six gladiolus cultivars (Purple Flora, Amsterdam, Green Star, White Goddess, Jester and Gold Field) were put in a 10 liter bucket filled with tap water (one bucket per cultivar).

The floral stems were harvested from plants grown in the field (planting was on 28 jul. 2015) at the R2 stage. Each spike was tagged and developmental stages (R3, R3.4, R3.5, R4 and R5) were observed daily. Minimum and maximum daily air temperature inside the room was measured throughout the experimental period.

3.2.5. Model description

The gladiolus development model, named PhenoGlad, simulates gladiolus phenology using three main phases based on the developmental scale by Schwab et al. (2015): corms sprouting phase, from planting (PL) until emergence (VE) (Fig. 2a), vegetative phase, from VE until heading (R1.0) (Fig. 2c) and reproductive phase, from R1.0 until end of florets senescence (R5). During the vegetative phase, leaf appearance takes place, from VE until final leaf number (FLN) (Fig. 2b).

3.2.6. Leaf appearance phase

Daily leaf appearance rate (LAR) is calculated in PhenoGlad model using the approach described in Wang and Engel (1998):

$$\text{LAR} = \text{LAR}_{\max} \cdot f(T) \quad (1)$$

where: LAR is the daily leaf appearance rate (leaves day⁻¹), LAR_{max} is the maximum daily leaf appearance rate (leaves day⁻¹), and f(T) is the temperature response function (0 – 1). The f(T) is a version of the beta function:

$$f(T) = [2(T - T_b)^\alpha (T_{\text{opt}} - T_b)^\alpha - (T - T_b)^{2\alpha}] / (T_{\text{opt}} - T_b)^{2\alpha} \quad \text{if } T_b \leq T \leq T_B$$

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T < T_b \text{ or } T > T_B \quad (2)$$

$$\alpha = \ln 2 / \ln [(T_B - T_b) / (T_{\text{opt}} - T_b)] \quad (3)$$

where: T_b, T_{opt} and T_B are the cardinal temperatures (minimum, optimum and maximum) for LAR, respectively, and T is the average daily air temperature, calculated from the mean of minimum and maximum air temperatures. LAR_{max} is cultivar specific. The cardinal temperatures for LAR were T_b = 2°C (Shillo and Halevy, 1976a; Hertogh, 1996), T_{opt} = 27°C (International Flower Bulb Centre, 2011), and T_B = 45°C (Shillo and Halevy, 1976a; International Flower Bulb Centre, 2011). The curve generated by equations (2) and (3) with the cardinal temperatures for LAR is shown in Fig. 3 (green curve). The cumulative leaf number (CLN) is calculated starting at VE by accumulating daily LAR values, i.e., CLN = ∑LAR, until the appearance of the Nth true leaf tip. The final leaf number (FLN is defined at the day of the R1 stage). To calculate FLN in the model, a correction factor (CF), specific for each cultivar, is added to the CLN at the R1 stage to take into account the higher leaf appearance rate of the uppermost leaves.

3.2.7. Phenological phases

Starting at planting, the developmental stage (DVS) is calculated by accumulating the daily developmental rate values. DVS is -1 at PL, 0 at VE, 0.8 at R1.0, 1.0 at R2, 1.13 at R3, 1.32 at R3.4 and R3.5, 1.56 at R3.6, 1.84 at R4 and 2 at R5 (Fig. 2e). The daily developmental rate (day^{-1}) was calculated with the approach by Wang and Engel (1998):

$$r = r_{\max} \cdot f(T) \quad (4)$$

where: r is the daily developmental rate (day^{-1}), r_{\max} is the maximum daily development rate (day^{-1}) at optimum temperature and $f(T)$ is the temperature response function. The r_{\max} is genotype dependent and varies according to the developmental phase and sub-phase (Fig. 2a, 2c and 2d): r_{\max_s} = maximum developmental rate (day^{-1}) during the sprouting main phase, r_{\max_v} = maximum development rate (day^{-1}) during the vegetative main phase, r_{\max_h} = maximum developmental rate (day^{-1}) during the heading sub-phase, r_{\max_f} = maximum developmental rate (day^{-1}) during the flowering sub-phase.

The temperature response function $f(T)$ is the same as in equations (2) and (3), using the average daily air temperature, calculated from the average of minimum and maximum air temperatures. Each developmental phase has specific cardinal temperatures. In the sprouting phase, the cardinal temperatures are: $T_b = 5^\circ\text{C}$ (Shillo and Simchon, 1973), $T_{opt} = 25^\circ\text{C}$ (from our controlled experiment), and $T_B = 35^\circ\text{C}$ (from our controlled experiment). In the vegetative phase, cardinal temperatures are: $T_b = 2^\circ\text{C}$ (Shillo and Halevy, 1976a; Hertogh, 1996), $T_{opt} = 27^\circ\text{C}$ (International Flower Bulb Centre, 2011), and $T_B = 45^\circ\text{C}$ (Shillo and Halevy, 1976a; International Flower Bulb Centre, 2011) and in the reproductive phase (heading and flowering sub-phases). Cardinal temperatures are: $T_b = 6^\circ\text{C}$ (Hertogh, 1996; Burg, 2004), $T_{opt} = 25^\circ\text{C}$ (International Flower Bulb Centre, 2011), and $T_B = 42^\circ\text{C}$ (Shillo and Halevy, 1976a; International Flower Bulb Centre, 2011). The shape of $f(T)$ for the different developmental phases is in Fig. 3.

3.2.8. Chilling and heat injury

Injuries due to low and high temperature on gladiolus are considered in PhenoGlad as follows: if the minimum temperature is lower than -2°C during at least three days in a row, from $DVS = 0$ (VE) to $DVS = 2.0$ (R5) then the crop is killed by frost. If the minimum temperature is lower than or equal to -2°C during one day or if $-2^\circ\text{C} \leq T_{\min} \leq 3^\circ\text{C}$ during 3

days in a row from $DVS \geq 0.64$, then the spike is killed by frost but leaves are only injured slightly.

Heat injury in PhenoGlad is considered when the maximum temperature is greater than or equal to 34°C during three consecutive days during the reproductive phase (from R1 to R5). The model warns the user about a severe burning of petals and sepals if the simulation ends at R2 (harvest point). If the simulation ends at R5 (end of flowering), the warning is severe burning and risk that the 3 or 4 uppermost florets on the spike do not open.

These temperature levels were selected based on our field experiments as stated in the model calibration section. If the maximum temperature is higher than 48°C from $DVS = 0$ to $DVS = 2$, the upper lethal temperature is reached (Shilto and Halevy, 1976a) and the crop is killed by heat. This situation was included in the model to make it realistic when forced in extreme climates, like in future climate change scenarios.

3.2.9. Model calibration

The PhenoGlad model (leaf appearance and phenology) was calibrated for the ten gladiolus cultivars with part of the field experiments conducted in Santa Maria (Table 2). The dataset for model calibration was selected to have a wide range of durations of developmental phases. The temperature response function, $f(T)$ (equation 2 and 3), was calibrated with the controlled environmental experiment, setting $T_b = 5^{\circ}\text{C}$, $T_{opt} = 25^{\circ}\text{C}$ and $T_B = 35^{\circ}\text{C}$. The warnings of chilling and heat injury were calibrated with two planting dates of Jester cultivar (Table 2).

The warning of chilling injuries was calibrated according to observations performed in a field experiment, where the gladiolus spikes were exposed to lethal temperatures (-2°C) in the 02 Apr. 2012 planting date (Table 2). The warning of heat injury was calibrated according to observations performed in a field experiment, where the gladiolus spikes were exposed to high temperatures (three consecutive days with maximum temperature higher or equal than 34°C) at 31 Oct. 2013 planting date (Table 2). The injury observed in field is a severe burning on gladiolus sepals, which caused the failure of the 3 or 4 uppermost florets opening, making gladiolus spikes unmarketable.

The coefficient LAR_{max} for each cultivar was estimated by increasing an initial value ($0.02 \text{ leaves day}^{-1}$) until obtaining the best fit between observed and estimated CLN values by minimizing the Root Mean Square Error (RMSE) between observed and simulated CLN values:

$$\text{RMSE} = [\sum(\text{Si}-\text{Oi})^2/n]^{0.5} \quad (5)$$

where: Si= simulated CLN values, Oi= observed CLN values and n= number of observations. The unit of RMSE is the same of Si and Oi, that is, leaves per plant.

The coefficients r_{max_s} , r_{max_v} , r_{max_h} , and r_{max_f} were calibrated for each developmental phase (PL-VE, VE-R1) and sub-phase (R1-R2, R2-R5), respectively, with SAS (SAS Institute, 2001) using the NLIN procedure and the Marquardt method.

The estimates of the cultivar-dependent coefficients for each developmental phase (r_{max_s} , r_{max_v} , r_{max_h} , and r_{max_f}) were regressed against accumulated thermal time ($^{\circ}\text{C day}$) and LAR_{max} was regressed against phyllochron ($^{\circ}\text{C day leaf}^{-1}$). The thermal time was calculated as (Gilmore and Rogers, 1958; Arnold, 1960; Matthews and Hunt, 1994):

$$\text{TT} = (T - T_b) \cdot 1 \text{ day}, \quad (6)$$

if $T_b \leq T \leq T_{\text{opt}}$ and if $T < T_b$ then $T = T_b$

$$\text{TT} = [(T_{\text{opt}} - T_b) (T_B - T) / (T_B - T_{\text{opt}})] \cdot 1 \text{ day}, \quad (7)$$

if $T_{\text{opt}} < T \leq T_B$, and if $T > T_B$ then $T = T_B$

where TT is the daily thermal time ($^{\circ}\text{C day}$), T is the mean daily temperature and T_b , T_{opt} and T_B are the cardinal temperatures for each phase (same as used in equations 2 and 3). Accumulated thermal time (ATT) was computed as: $\text{ATT} = \sum \text{TT}$. The phyllochron was calculated as the inverse of the slope of the regression between CLN against ATT (Klepper *et al.*, 1982; Kirby, 1995; Wilhelm and McMaster, 1995).

3.2.10. Model evaluation

The validation of the temperature response function [f(T)] of the sprouting phase was with the independent data collected in the temperature treatments of 7°C , 16°C , and 30°C of the controlled environmental experiment, and with the data of the field experiment 1 and 2 in Santa Maria (Table 1). For these two field experiments, rate of shoot emergence (day^{-1}) was calculated as the inverse of the duration of the sprouting phase (from planting to emergence) for each planting date and cultivar. Temperature for each emergence rate was computed as the average of daily mean temperatures from planting to emergence. Emergence rates were normalized by dividing each rate by the average rate in the temperature range of between 24°C and 27°C , where most of the maximum rates were observed.

Model evaluation was with data of CLN and developmental stages collected in the field experiments that were not used for model calibration (Table 2), which were independent data. For each planting date, cultivar and location, the model was run twice: one run started at

planting date and the other run started at emergence date. The reason for these two runs is that for practical applications both dates can be used to run the model. The ability of the PhenoGlad model to simulate the developmental stages of harvested spikes in the six gladiolus cultivars was with the data collected in the postharvest experiment (vase life). For this experiment, the model was run starting at R2 (the day when the spikes were harvested).

Model performance was evaluated with the statistics RMSE (Equation 5), BIAS index (Wallach, 2006), index of agreement (dw) (Willmott, 1981), correlation coefficient (r) and systematic (MSEs) and unsystematic (MSEns) errors (Willmott, 1981). Low RMSE, close to zero BIAS, close to one dw and r, and low systematic and high unsystematic error are characteristics of a good model. The equations to calculate each of these statistics are:

$$\text{BIAS} = (\sum S_i - \sum O_i) / \sum O_i \quad (8)$$

$$dw = 1 - [\sum (S_i - O_i)^2] / [\sum (|S_i - \bar{O}|) + (|O_i - \bar{O}|)]^2 \quad (9)$$

$$r = \sum (O_i - \bar{O})(S_i - S) / \{[\sum (O_i - \bar{O})^2][\sum (S_i - S)^2]\}^{0.5} \quad (10)$$

$$\text{QMES} = [\sum (\hat{S}_i - O_i)^2] / n \quad (11)$$

$$\text{QMENS} = [\sum (S_i - \hat{S}_i)^2] / n \quad (12)$$

where S_i are the simulated values, S is the mean of the simulated values, O_i are the observed values, \bar{O} is the mean of the observed values and n is the number of observations.

The evaluation of the model in simulating chilling and heat injuries was with the 2 x 2 Contingency Table approach (Wilks, 2006). In this approach, model accuracy (PC) in forecasting a discrete event was calculated as:

$$\text{PC} = (Y + N) / n \quad (13)$$

where Y is the number of predicted events, N is the number of non-predicted events and n is the total number of observed events and no events.

3.2.11. Model coding and software

The model was coded in FORTRAN 77 and a friendly interface was built in Java (version 1.8.0_66). Version 1.0 of PhenoGlad is available for free by contacting the authors.

3.3. RESULTS

3.3.1. Meteorological conditions during the field experiments

There was a large variation of weather conditions during the period that the plants were in the field during the eight experiments conducted in Santa Maria, Itaquí, Frederico Westphalen and Curitibaanos (Table 3) and in the on-farm experiment on farm (Fig. 4). In general, the solar radiation was higher in the Spring and Summer months and the precipitation was well distributed throughout the year. In Santa Maria, Experiment 3 was the warmest, with the highest maximum air temperature of 40.2°C in February 2014. The lowest minimum air temperature was in the Autumn of 2012 (-2°C), during Experiment 1. Among the other three locations, Itaquí was the warmest, with maximum temperature reaching 37.5°C during the Spring of 2014, and Curitibaanos is the location with the lowest temperature (highest maximum temperature during Spring of 31.5°C). The distinct meteorological conditions among different planting dates and locations provide a rich data set to calibrate and evaluate the PhenoGlad model.

3.3.2. Estimates of model coefficients and their relationship with thermal time

The estimates of LAR_{max} , $rmax_v$, $rmax_h$ and $rmax_f$ for the ten gladiolus cultivars are in Table 5. The variation of these genetic-dependent coefficients for each developmental phase had statistically a significant relationship with the thermal time of each phase (Fig. 5A - D), with coefficients of determination (R^2) ranging from 0.72 to 0.93, so that the higher the thermal time required to complete a phenological phase, the lower is the value of $rmax$. There was small variation in the coefficient LAR_{max} among cultivars with no significant relationship with the phyllochron ($R^2= 0.34$) (Fig. 5E).

3.3.3. Temperature response function for the sprouting phase

The emergence rates of the cultivar Amsterdam at 7°C, 16°C and 30°C in the controlled experiment were well described by the $f(T)$ (Fig. 6A). The emergence rates measured at 16°C and 30°C are similar, indicating supra optimal effects on emergence in the latter. Emergence rate measured at 7°C is very low as this temperature is near the lower base temperature assumed in the model (5°C).

In the field, the sprouting rates of cultivar Amsterdam, Rose Friendship, Peter Pears and Jester varied much more than in the controlled environment, but data were spread around the curve of the $f(T)$ (Fig. 6B). The highest emergence rate in the field experiments was observed around the temperature of 25°C, which agrees with the results obtained in the controlled environment experiment (Fig. 6A). The greater variation in field emergence rates is because there are other factors besides temperature influencing the sprouting phase in the field, such as the stage of sprouting of the corms at planting, soil temperature instead of air temperature as assumed in the model, and planting depth.

3.3.4. Simulation of leave appearance

Simulated versus observed cumulative leaf number (CLN) for the independent data simulated with the PhenoGlad model are presented in Fig. 7 (experiments in Santa Maria), Fig. 8 (experiments in Itaquí) and Fig. 9 (experiments in Frederico Westphalen). The Root Mean Square Error (RMSE) varied from 0.4 leaves for cultivars White Friendship, Purple Flora and Peter Pears up to 0.8 leaves for cultivar Green Star in Santa Maria (Fig. 7C, D, E and G). In Itaquí, the RMSE varied from 0.2 leaves for cultivar Purple Flora and Green Star up to 0.6 leaves for Gold Field (Fig. 8D, E and F). In Frederico Westphalen, the RMSE varied from 0.3 leaves for White Friendship, Purple Flora, Green Star and Gold Field up to 0.7 leaves for Rose Friendship cultivar (Fig. 9B – F).

In Santa Maria, most cultivars showed a negative BIAS index, with the exception cultivars Rose Friendship, Amsterdam and T704 (Fig. 7A – H). Similarly, in Frederico Westphalen, the BIAS index was negative for all cultivars (Fig. 8A – H). A negative BIAS index indicates that the model underestimated the CLN. On the other hand, a positive BIAS index was observed for all cultivars in Itaquí, with exception of the cultivar Jester (Fig. 9A – H). The statistic index of agreement (dw) and correlation coefficient (r), where high (close to 1) for all cultivars and locations.

Pooling all data (cultivar x planting dates x years x locations), the RMSE was 0.5 leaves for the CLN (Fig. 13A). Decomposing the RMSE into systematic (MSEs) and non-systematic (MSEns) (Wilmott, 1981), the MSEs was 1% and the MSEns was 99.0%. The RMSE for leaf number in wheat and rice with the Wang and Engel model (equation 1) varied from 0.3 to 0.7 leaves (Streck et al. 2003b, 2008), indicating that the PhenoGlad model had good performance in simulating leaf development. The BIAS index was close to zero and the dw and r were high, with values of 0.98 and 0.96, respectively. For final leaf number (Fig.

13B), the RMSE was 0.5 leaves, systematic and non-systematic errors were 22.3% and 77.7%, respectively, and the *dw* and *r* indexes were 0.87 and 0.78, respectively.

3.3.5. Simulation of developmental stages

Simulated versus observed days after planting (DAP) for the independent data of heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning of floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) for each gladiolus cultivar simulated with the PhenoGlad model run from emergence are presented in Fig. 10 (plants grown in Santa Maria), Fig. 11 (plants grown in Itaqui), and Fig. 12 (plants grown in Frederico Westphalen). The RMSE varied from 1.9 days for the cultivar White Friendship to 6.6 days for the cultivar Rose Friendship in Santa Maria (Fig. 10B and C). In Itaqui, the RMSE varied from 2.6 days for cultivar White Friendship to 7.3 days for Gold Field cultivar (Fig. 11C and F). In Frederico Westphalen, the RMSE varied from 2.6 days for Jester up to 8 days for Rose Friendship cultivar (Fig. 12A and B).

For Santa Maria and Frederico Westphalen, the BIAS index was positive for most of the cultivars, indicating slightly overestimation (Fig. 10A – H and 12A – F) whereas for Itaqui (Fig. 11A – F), the BIAS index was slightly negative, with the exception of cultivar Rose Friendship. The *dw* and *r* indexes were high for Santa Maria (varying between 0.9 – 1.0), and for Itaqui and Frederico Westphalen the *dw* was lower in some cultivars (0.79), such as Gold Field in Itaqui and Rose Friendship in Frederico Westphalen (Fig. 11F and 12B, respectively). For most of the data sets in Fig. 10, 11 and 12 unsystematic MSE was greater than systematic MSE.

Pooling all data (cultivars x planting dates x years x locations), when the model started at emergence (Fig. 13C), RMSE for R-stages varied from 4.8 to 5.2 days whereas when the model started from planting (Fig. 13D), the RMSE was higher (6.4 to 7.3 days). Overall, other statistics (BIAS, *dw*, *r*, MSEs and MSEu) were slightly better when the model started from emergence (Fig. 13C) compared to when the model started from planting (Fig. 13D). A slightly greater error in simulating the R-stages when PhenoGlad was run from planting was because the model had an average error of 4.3 days to predict emergence (VE).

3.3.6. Performance of the PhenoGlad model in Santa Catarina State

The experiment in Curitiba is an important dataset as this site is located in high altitude (992 m.a.s.l.), and temperature is quite different from the other three locations. In both planting dates, the model was run from emergence because the observed sprouting phase was shorter (10-15 days) than the simulated by the model (15-20 days). Model performance in simulating the V-stages and the R-stages of the six cultivars planted on 29 Sep. 2015 was good, with RMSE for the R-stages varying from 0.7 to 4.3 days (Fig. 14). For the planting on 30 Oct. 2015, model performance for the R-Stages was with RMSE varying from 4.3 to 8.1 days (data not shown). As an application of the model for field management practices, arrows in panels of Fig. 14 indicate the recommended timing of nitrogen side dressing at V3 (Schwab et al., 2015) and the harvest point.

3.3.7. Performance of the PhenoGlad model on farm

The ability of PhenoGlad in simulating the V-stages and R-stages of the six gladiolus cultivars grown in a commercial farm is in Fig. 15. The model was run from planting date except for cultivar Green Star (Fig. 15C), for which the model was run from observed emergence date because the observed sprouting phase was badly predicted by the model (observed emergence day was 4 days earlier than the simulated day). The V-stages and FLN were accurately simulated by the PhenoGlad model, with RMSE varying from 0.4 leaves for Amsterdam, White Goddess and Jester cultivars up to 0.9 leaves for Green Star cultivar (Fig. 15B, C, D and E). The RMSE for the developmental stages varied from 2.0 days for Gold Field to 4.6 days for Jester (Fig. 15F and E).

Analysing the developmental cycle of each cultivar, Purple Flora and Amsterdam cultivars are earlier (Fig. 15A and B) whereas Gold Field has the longest developmental cycle (Fig. 15F). These results are important for the selection of the appropriate cultivar and adjusting planting dates of different cultivars when the goal is to sell gladiolus spikes on specific holidays such as All Souls' Day, and Mother's day, etc.

3.3.8. Performance of the PhenoGlad model to simulate the developmental stages in harvested spikes

The ability of the PhenoGlad model in simulating the developmental stages (R3 to R3.6) of gladiolus spikes during the vase life is in Fig. 16. The RMSE was 1.3 days and other statistics (BIAS, dw, r, MSEs, MSEu) indicate that the model has application for postharvest conditions.

3.3.9. Simulating of chilling and heat injury

The model accuracy (PC) to predict chilling in gladiolus spikes in the field experiments conducted in Santa Maria during Autumn and Winter was 100% (Table 5). Most of the plants planted on 02 Apr. 2012 were at the heading sub-phase when lethal temperatures occurred. The plants of an earlier planting date (07 Mar. 2012) were at the flowering sub-phase on the day that field temperature reached -2°C , and florets opening process stopped. The validation of the high temperature warnings (risk of severe burning on the gladiolus spikes) was with a model accuracy (PC) of 77.7% in Santa Maria and 95.6% in Frederico Westphalen (Table 5).

3.3.10. Using PhenoGlad to simulate genotype x environment interactions

As an application of the model for simulating genotype x environment interactions on gladiolus phenology, we run the model for nine cultivars, three locations (Santa Maria, Itaquí and Frederico Westphalen) and three planting dates (30 Jul. 2014, 30 Aug. 2014, and 30 Sep. 2014) from planting to harvest point (Fig. 17). The vegetative phase (VE-R1, green bars), is the longest phase whereas the heading phase (R1-R2, open bars) is the shortest phase. The later the planting date, the shorter the developmental cycle because of increase in temperature as planting date is delayed from July to September. Among cultivars, White Friendship, Purple Flora, Rose Friendship and Amsterdam are the earliest to flower whereas Gold Field is the latest. Differences among locations were not evident for these three planting dates. The model also simulated injuries on sepals due to high temperature during the reproductive phase before harvest in the 30 Jul. planting date in Santa Maria and Itaquí (red bars).

3.4. DISCUSSION

The different cultivars, planting dates, and locations (Table 1) led plants to grow under distinct temperatures and soils. This is important in phenological studies and to test the robustness of PhenoGlad in simulating the timing of developmental stages under conditions outside the range of environment that the model was calibrated. PhenoGlad uses a non-linear response function (Equations 2, 3) to describe the temperature effects on the rate of development. This approach has been successfully used to simulate the phenology and LAR in winter wheat (Wang and Engel, 1998; Streck et al., 2003a,b; Xue et al., 2004), rice (Streck et al., 2008, 2011), maize (Streck et al., 2009), soybean (Setiyono et al., 2007), potato (Streck et al., 2007), sweet potato (Erpen et al., 2013), and cassava (Samboranha et al., 2013).

The genotype-specific coefficients of the PhenoGlad model (LAR_{max} , $rmax_s$, $rmax_v$, $rmax_h$, $rmax_f$) have biological meaning and operational definitions. They represent the maximum development rate (or the shortest duration of developmental phase), which is attained at optimum temperature. At suboptimal and at supraoptimal temperatures, the rate of development decreases, reaching zero at T_b and T_B , respectively (Fig. 3). This response is based on fundamental relationships between genetic rates and temperature (Schaykewich, 1995).

PhenoGlad showed good stability among cultivars, planting dates, years, and sites, as indicated by the low RMSE values (Figure 7 to 14). The value of RMSE are low for CLN and FLN (Figures 7, 8, 9) if compared to model predictions for other crops like potato, with $RMSE = 2.0$ leaves (Streck et al., 2007), sweet potato, $RMSE = 2.2$ leaves (Erpen et al., 2013), and cassava, $RMSE = 3.2$ leaves (Samboranha et al., 2013). For the prediction of developmental stages, the RMSE with PhenoGlad (4 – 5 days, Fig. 13C, Fig. 14) was similar to the RMSE with the WE model for other crops. For instance, the RMSE for soybean was 3.3 – 3.8 days (Setiyono et al., 2007), 7 days for potato (Streck et al., 2007), 4.3 – 10.9 days for rice (Streck et al., 2011), 2.7 – 4.8 days for maize (Streck et al., 2009) and 5 – 6 days for winter wheat (Streck et al., 2003a). Therefore, PhenoGlad is suitable for predicting the timing of management practices in gladiolus, such as nitrogen side-dressing and harvest date, which is useful to assist farmers (Gary et al., 1998).

The accuracy of the PhenoGlad model in simulating the developmental stages was lower when the model was run from planting compared to when the model was run from emergence date (Fig. 13C, D, Figure 14). This occurred because sprouting is driven only by temperature in PhenoGlad (Fig. 2a). Other factors like soil type, soil temperature (instead of

air temperature), planting depth, and internal factors of the corm such as degree of sprouting at planting may contribute to sprouting rate. This part of the model needs further improvements. Nevertheless, for practical applications, running the PhenoGlad model from emergence date should not be a major problem as crop emergence is easily observed in the field.

An important characteristic for consumers is the vase life of gladiolus, which lasts from R3 to R4 developmental stages. PhenoGlad was able to simulate the vase life with an average error of one day (Fig. 16). Additionally, the model can be used to simulate the florets opening rate during storage under lower temperatures and to predict the storage time. For instance, at 8°C the estimated time from R3 (first open floret) to R4 (last open floret) is 62 days whereas at 10°C the estimated time is 31 days.

The PhenoGlad model was able to describe the differences among cultivars, locations and planting dates (Fig. 17). These results are important because gladiolus spikes quality is affected by planting dates (Zubair et al., 2006). Planning harvest time is critical for flower crops and models can be useful tools for defining the planting dates for different cultivars to be ready for harvesting at the right time. Furthermore, PhenoGlad can help in defining regions and seasons where Gladiolus can be grown and in which planting dates plants are more likely to be injured by low and high temperatures.

There is no consensus in the literature about the effect of photoperiod on gladiolus. Some authors argue that gladiolus is a facultative short day plant (Shillo and Halevy, 1976b) and long photoperiods (beyond 12 hours) after emergence or at the 4 – leaf stage increased the number of florets per spike, the length of spike and flower stalk, but delayed flowering time (Shillo et al., 1981). On the other hand, short photoperiods at this stage accelerated flowering time, but restricted the accumulation of photosynthates, by reducing the growing period (Salunkhe et al., 1990). We also tested the hypothesis of photoperiod affecting the timing of developmental stages of the gladiolus cultivars used in this study by including a photoperiod response function for short day plants (Gao et al., 1992) in the model during the vegetative phase, but there was no improvement in the simulations (data not shown), indicating that photoperiod was not a major factor affecting the development of these gladiolus cultivars.

3.5.CONCLUSIONS

We proposed a model for simulating the vegetative and reproductive development of gladiolus, named PhenoGlad. The model was able to simulate the gladiolus phenology across

a wide range of cultivars, planting dates, years and locations, irrigated and rainfed experiments, including an on-farm experiment. The performance of the model was improved when the simulations started from emergence compared to when simulations started at the planting date.

The PhenoGlad model can be used for practical applications, as data inputs requirement are only minimum and maximum temperature, cultivar and planting date or emergence date. PhenoGlad was also efficient in predicting the effects of chilling and high temperatures damage on florets and in simulating the vase life of gladiolus spikes. The cultivar-specific coefficients for each developmental phase can be estimated from thermal time, with no need of using an elaborated statistical approach.

3.6. ACKNOWLEDGEMENTS

Authors thank to Mireli Heman Lamberti, Wolnei Castro de Oliveira Júnior, Gabriel Antonello, Alex Stein, and Charles Patrick de Oliveira de Freitas for their valuable help in collecting data. This study was partially founded by CNPq, Proc. N. 302524/2011-8.

3.7. REFERENCES

- Adams, S.R., Pearson, S., Hadley, P., 1997. An analyses on the effects on temperature and light integral on the vegetative growth on pansy cv. Universal violet (*Violla x wittrockiana* Gams). *Ann. Bot.* 79, 219-225. doi: 10.1006/anbo.1996.0347
- Adil, M., Ahmad, W., Ahmad, K.S., Shafi, J., Shehzad, M.A., Sarwar, M.A., Salman, M., Ghani, M.I., Iqabal, M., 2013. Effect of different planting dates on growth and development of *Gladiolus grandiflorus* under the ecological conditions of Faisalabad, Pakistan. *Univ. J. Agric. Res.* 1, 110-117. doi: 10.13189/ujar.2013.010311
- Akpinar, E., Bulut, Y., 2011. A study on the growth and development of some *Gladiolus* (*Gladiolus* L.) varieties planted in different time under the ecological conditions of Erzurum. *Afr. J. Agr. Res.* 6, 3143-3148.
- Arnold, C.Y., 1960. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heat units. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 76, 682-692.
- Blanchard, M.G., Runkle, E.S., 2011. Quantifying the thermal flowering rates of eighteen species of annual bedding plants. *Sci. Hortic.* 128, 30-37. doi: 10.1016/j.scienta.2010.12.010
- Bouman, B.A.M., Kropff, M.J., Tuong, T.P., Wopereis, M.C.F., ten Berge, H.F.M., van Laar, H.H., 2004. *ORYZA 2000: modeling lowland rice*, 2.12th edn. Internacional Rice Research Institute.
- Brondum, J.J., Heins, R.D., 1993. Modeling temperature and photoperiod effects on growth and development on Dahlia. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118, 36-42.
- Burg, S.P. 2004. Horticultural commodity requirements. In: Burg SP, 1st edn. *Postharvest Physiology and hypobaric storage of fresh produce*. Florida: Cabi Publishing.
- Cave, R.L., Hammer, G.L., McLean, G., Birch, C.J., Erwin, J.E., Johnston, M.E., 2013. Moddeling temperature, photoperiod and vernalisation responses of *Brunonia australis* (Goodeniaceae) and *Calandrinia* sp. (Portulacaceae) to predict flowering time *Ann. Bot.* 111, 629-639. doi:10.1093/aob/mct028
- Erpen, L., Streck, N.A., Uhlmann, L.O., Langner, J.A., Winck, J.E.M., Gabriel, L.F., 2013. Estimating cardinal temperatures and modelling the vegetative development of sweet potato. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.* 17, 1230-1238. (In Portuguese, with Abstract in English). doi: 10.1590/S1415-43662013001100015
- Erwin, J.E., Heins, R.D. 1990. Temperature effects on lily development rate and morphology from the visible bulb stage until anthesis. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115, 644-646.

- Gao, L., Jun, Z., Huang, Y., Zhang, L. 1992. Rice clock model – a computer model to simulate rice development. *Agric. For. Meteorol.* 60, 1-16. doi: 10.1016/0168-1923(92)90071-B
- Gary, C., Jones, J.W., Tchamitchian, M., 1998. Crop modelling in horticulture: state of the art. *Sci. Hortic.* 74, 3-20. doi: 10.1016/S0304-4238(98)00080-6
- Gilmore, E.C. Jr., Rogers, J. S., 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50, 611-615. doi: 10.2134/agronj1958.00021962005000100014x
- Hertogh, A. de., 1996. *Holland bulb forcer's guide*. 5th edn. Hillegom, the Netherlands: International Flower Bulb Center.
- Hodges, T. 1991., Introduction. In: Hodges T. Predicting Crop Phenology. *Boston: CRC* 1-2.
- International Flower Bulb Centre. 2011. Gladiolus as cut flowers: Guidelines for cut flower production. AD Hillegom: International Flower Bulb Centre, The Netherlands.
- Jones, C.A., Kiniry, J.R., 1986. *Cerez-maize: A simulation model of maize growth and development*. Texas: Texas A&M University Press.
- Kirby, E.J., 1995. Factors affecting rate of leaf emergence in barley and wheat. *Crop Sci.* 35, 11-19. doi: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500010003x
- Klepper, B., Rickman. R.W., Peterson, C.M., 1982. Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. *Agron. J.* 74, 789-792. doi: 10.2134/agronj1982.00021962007400050005x
- Landsberg, J.J. 1997. Some useful equations for biological studies. *Exp. Agric.* 13, 273-286.
- Larsen, R.U., Pearson, L., 1999. Modelling flower development in greenhouse chrysanthemum cultivars in relation to temperature and response group. *Sci. Hortic.* 80, 73-89. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0014479700008000>
- Lentz, W., 1998. Model applications in horticulture: a review. *Sci. Hortic.* 74, 151-174. doi: 10.1016/S0304-4238(98)00085-5
- Liu, B., Heins, R.D., 2002. Photothermal ratio affects plant quality in 'Freedon' poinsettia. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 127, 20-26.
- Matthews, R.B., Hunt, L.A., 1994. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). *Field Crops Res.* 39, 69-84. doi: 10.1016/0378-4290(94)90054-X
- Moccaldi, L.A., Runkle, E.S., 2007. Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily integral on growth and flowering of *Salvia splendens* and *Tagetes patula*. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 132, 283-288.

- Niu, G., Heins, R.D., Cameron, A., Carlson, W., 2001. Temperature and daily light integral influence plant quality and flower development of *Campanula carpatica* 'Blue Clips', 'Deep Blue Clips' and *Campanula* 'Birch Hybrid'. *HortScience*, 36, 664-668.
- Penning de Vries, F.W.T., Jansen, D.M., ten Berge, H.F.M., Bakema, A., 1989. *Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops*. Netherlands: Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Pramuk, L.A., Runkle, E.S., 2005. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 130, 813-818.
- Prusinkiewick, P., 2004. Modeling plant growth and development. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7, 79-83. doi: 10.1016/j.pbi.2003.11.007
- Salunkhe, D.K., Bhat, N.R., Desai, B.B., 1990. Gladiolus. In: Salunkhe DK, Bhat NR, Desai BB, eds. *Postharvest biotechnology of flowers and ornamental plants*. New York: Springer-Verlag, 99-110.
- Samboranha, F.K., Streck, N.A., Uhlmann, L.O., Gabriel, L.F., 2013. Mathematical modeling of leaf development in the cassava. *Rev. Ciencia Agron.* 44, 815-824. (In Portuguese, with Abstract in English). doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000400019>
- SAS Institute., 2001. *SAS-STAT: user's guide*. 8th edn. Cary: SAS Institute.
- Schaykewich, C.F., 1995. An appraisal of cereal crop phenology modeling. *Can. J. Plant Sci.* 75, 329-341. doi: 10.4141/cjps95-057
- Schwab, N.T., Streck, N.A., Becker, C.C., Langner, J.A., Uhlmann, L.O., Ribeiro, B.S.M.R., 2015. A phenological scale for the development of Gladiolus. *An. Appl. Biol.* 166, 496-507. doi: 10.1111/aab.12198
- Setiyono, T.D., Weiss, A., Specht, J.E., Bastidas, A.M., Cassman, K.G., Dobermann, A., 2007. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. *Field Crops Res.* 100, 257-271. doi: 10.1016/j.fcr.2006.07.011
- Setiyono, T.D., Cassman, K.G., Specht, J.E., Doberman, A., Weiss, A., Yang, H., Conley, S.P., Robinson, A. P., Pedersen, P., De Bruin, J.L. Simulation of soybean growth and yield in near-optimal growth conditions. *Field Crops Res.* 119, 161-174. doi: 10.1016/j.fcr.2010.07.007
- Shillo, R., Halevy, A.H., 1976a. The effects of various environmental factors on flowering of gladiolus. III. Temperature and moisture. *Sci. Hortic.* 4, 147-155. doi: 10.1016/S03044238(76)800064

- Shillo, R., Halevy, A.H., 1976b. The effects of various environmental factors on flowering of gladiolus. II. Length of the day. *Sci. Hortic.* 4, 139-146. doi: 10.1016/S0304-4238(76)80005-2
- Shillo, R., Simchon, S., 1973. Effect of water content and storage temperature of gladiolus corms on flowering. *Sci. Hortic.* 1, 57-62. doi:10.1016/03044238(73)90006X
- Shillo, R., Valis, G., Halevy, A.H., 1981. Promotion of flowering by photoperiodic lighting in winter – grown gladiolus planted at high densities. *Sci. Hortic.* 14, 367-375. doi: 10.1016/0304-4238(81)90050-9
- Steininger, J., Pasian, C.C., Lieth, J.H., 2002. Extension of a thermal unit model to represent nonlinearities in temperature response on miniature rose development. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 127, 349-354.
- Streck, N.A., 2002. A temperature response function for modelling leaf growth and development of the African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). *Cienc. Rural*, 34, 55-62. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000100009>
- Streck, N.A., Weiss, A., Xue, Q., Baezinger, P.S., 2003a. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. *Agric. For. Meteorol.* 115, 139-157. doi: 10.1016/S0168-1923(02)00228-9
- Streck, N.A., Weiss, A., Xue, Q., Baezinger, P.S., 2003b. Incorporating a chronology response into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. *Ann. Bot.* 92, 181-190. doi: 10.1093/aob/mcg121
- Streck, N.A., Paula, F.L.M. de., Bisognin, D.A., Heldwein, A.B., Dellai, J., 2007. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). *Agric. For. Meteorol.* 142, 1-11. doi: 10.1016/j.agrformet.2006.09.012
- Streck, N.A., Bosco, L.C., Lago, I. 2008. Simulating leaf appearance in rice. *Agron. J.* 100, 490-501. doi:10.2134/agronj2007.0156
- Streck, N.A., Gabriel, L.F., Samboranza, F.K., Lago, I., Schwantes, A.P., Schons, A. 2009. Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. *Cienc. Rural*, 39, 642-648. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008005000089>
- Streck, N.A., Lago, I., Oliveira, F.B., Heldwein, A.B., Avila, L.A., Bosco, L.C., 2011. Modeling the development of cultivated rice and weedy red rice. *T. ASAE*, 54, 371-384. doi: 10.13031/2013.36234
- Streck, N.A., Bellé, R.A., Backes, F.A.A.L.B., Gabriel, L.F., Uhlmann, L.O., Becker, C.C., 2012. Vegetative and reproductive development in gladiolus. *Cienc. Rural*, 42, 1968-

1974. (In Portuguese, with Abstract in English). doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012001100010>
- USDA., 1999. *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*, 2nd edn. Washington: USDA.
- Wallach, D., 2006. Evaluating crop models. In: Wallach D, Makowski D, Jones JW, eds. *Working with dynamic crop models: Evaluation, analysis, parameterization, and applications*. Amsterdam: Elsevier, 11-50.
- Wang, E., Engel, T., 1998. Simulation of phenological development of wheat crops. *Agric. Sys.* 58, 1-24. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0308521X\(98\)000286](http://dx.doi.org/10.1016/S0308521X(98)000286)
- Wilhelm, W.W., McMaster, G.S., 1995. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. *Crop Sci.* 35, 1-3. doi: [10.2135/cropsci1995.0011183X003500010001x](http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500010001x)
- Willmott, C.J., 1981. On the validation of models. *Phys. Geog.* 2, 184-194. doi: [10.1080/02723646.1981.10642213](http://dx.doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213)
- Wilks, D.S., 2006. Forecast validation. In: Wilks DS, 2nd edn. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Burlington: Elsevier, 255-336.
- Xue, Q., Weiss, A., Baenziger, P.S., 2004. Predicting leaf appearance in field grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. *Ecol. Model.* 175, 261–270. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2003.10.018](http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.10.018)
- Zubair, M., Wazir, F.K., Akhtar, S., Ayub, G., 2006. Planting dates affect floral characteristics of *Gladiolus* under the soil and climatic conditions of Peshawar. *Pak. J. Biol. Sci.* 9, 1669-1676. doi: [10.3923/pjbs.2006.1669.1676](http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2006.1669.1676)

Table 1

Experiments in Brazil with locations, gladiolus cultivars and planting dates (dd/mm/yyyy) used as data sets in the study.

Experiment number	Location	Cultivars	Planting dates
1	Santa Maria	T704 (only on 05/08/2011), Rose Friendship, Peter Pears, Jester	05/08/2011, 02/09/2011, 03/10/2011, 01/11/2011, 01/12/2011, 04/01/2012, 01/02/2012, 07/03/2012, 02/04/2012, 02/05/2012, 01/06/2012, 02/07/2012
2	Santa Maria	Rose Friendship, Amsterdam, Jester	02/08/2012, 03/09/2012, 04/10/2012, 01/11/2012, 03/12/2012, 04/01/2013, 01/02/2013, 01/03/2013, 01/04/2013, 01/05/2013, 03/06/2013, 02/07/2013
3	Santa Maria	T704, Amsterdam, Peter Pears, Green Star, Jester	26/07/2013, 09/09/2013, 31/10/2013
4	Santa Maria	White Friendship, Purple Flora, Rose Friendship (not on 06/03/2014), Amsterdam, Peter Pears (only on 06/03/2014), Green Star, Jester	06/03/2014, 16/04/2014, 26/05/2014
5	Santa Maria	White Friendship, Purple Flora, Rose Friendship, Green Star, Jester, Gold Field	31/07/2014, 23/09/2014, 27/10/2014
6	Itaqui	White Friendship, Purple Flora, Rose Friendship, Green Star, Jester, Gold Field	28/07/2014, 22/09/2014, 26/10/2014
7	Frederico Westphalen	White Friendship, Purple Flora, Rose Friendship, Green Star, Jester, Gold Field	05/08/2014, 29/08/2014, 23/10/2014
8	Curitibanos	Purple Flora, Amsterdam, White Goddess, Green Star, Jester, Gold Field	29/09/2015, 30/10/2015
9	On Farm, Santa Maria	Purple Flora, Amsterdam, White Goddess, Green Star, Jester, Gold Field	27/07/2015

Table 2

Planting dates (dd/mm/yyyy) and experiments with gladiolus cultivars used for calibrating the PhenoGlad model. The planting dates were the same for calibrating the leaf appearance and the phenology phases unless otherwise stated. Santa Maria, RS, Brazil.

Cultivar	Planting dates for calibration	Experiment number
 Leaf appearance and phenology	
White Friendship	06/03/2014, 16/04/2014, 31/07/2014, 23/09/2014	4 and 5
Purple Flora	06/03/2014, 26/05/2014, 31/07/2014, 23/09/2014	4 and 5
Rose Friendship	02/09/2011, 03/10/2011, 07/03/2012, 02/05/2012*	1
	03/09/2012, 01/03/2013, 01/05/2013, 02/07/2013**	2
Amsterdam	03/06/2013, 26/07/2013, 09/09/2013, 31/10/2013	2 and 3
T704	09/09/2013	3
Peter Pears	05/08/2011, 26/07/2013, 09/09/2013, 31/10/2013	1 and 3
Green Star	16/04/2014, 26/05/2014, 31/07/2014, 23/09/2014	4 and 5
Jester	03/09/2012, 01/03/2013, 01/05/2013, 02/07/2013	2
White Goddess	28/07/2015 *	
	10/11/2014 **	
Gold Field	31/07/2014, 23/09/2014, 27/10/2014	5
 Chilling	
Jester	02/04/2012	1
 Heat injury	
Jester	31/10/2013	3

* Planting dates used for calibration the leaf appearance phase

** Planting dates used for calibrating the phenology model

Table 3

Summary of meteorological variables of daily minimum, maximum and mean temperature, daily mean solar radiation and accumulated precipitation for each season in each location and daily mean experiment with gladiolus in Rio Grande do Sul and Santa Catarina.

Location	Experiment number	Season	Temperature (°C)			Rad. (MJ m ⁻² day ⁻¹)	Prec. (mm)
			Min.	Mean	Max.		
Santa Maria	1	Spring/2011	7.6	21.6	39.0	22.1	255.6
		Summer/2011-2012	13.2	26.2	39.0	21.7	364.8
		Autumn/2012	-2.0	17.6	35.6	12.7	349.7
		Winter/2012	-0.4	17.3	33.6	10.8	404.7
		Mean	4.6	20.7	36.8	16.8	$\Sigma=1374.8$
Santa Maria	2	Spring/2012	3.6	22.6	38.2	20.0	588.6
		Summer/2012-2013	10.2	23.8	39.2	20.4	539.0
		Autumn/2013	1.2	17.8	32.6	11.9	350.4
		Winter/2013	0.4	15.2	35.2	11.2	351.8
		Mean	3.8	19.9	36.3	15.9	$\Sigma=1829.8$
Santa Maria	3	Spring/2013	6.0	21.6	35.0	20.6	549.0
		Summer/2013-2014	13.6	26.0	40.2	20.5	454.2
		Mean	9.8	23.8	37.6	20.6	$\Sigma=1003.2$
Santa Maria	4	Autumn/2014	-0.2	17.9	34.2	11.1	454.2
		Winter/2014	-0.2	16.8	33.2	10.3	776.4
		Mean	-0.2	17.4	33.7	10.7	$\Sigma=1230.6$
Santa Maria	5	Spring/2014	10.6	22.8	37.8	19.2	651.0
		Summer/2014-2015	13.0	25.4	37.0	20.3	428.2
		Mean	11.8	24.1	37.4	19.8	$\Sigma=1079.2$
Itaqui	6	Winter/2014	4.0	17.2	32.2	12.6	276.0
		Spring/2014	11.8	24.1	37.5	19.4	384.6
		Summer/2014-2015	14.9	26.5	37.3	19.6	363.6
		Mean	10.2	22.6	35.7	17.2	$\Sigma=1024.2$
Frederico Westphalen	7	Winter/2014	1.1	18.3	32.6	13.9	330.4
		Spring/2014	9.3	22.5	35.8	23.2	659.8
		Summer/2014-2015	14.9	24.5	33.4	23.4	315.0
		Mean	5.2	19.9	34.2	20.2	$\Sigma=1305.2$
Curitibanos	8	Spring/2015	7.7	18.8	31.5	16.2	837.6
		Summer/2015-2016	14.2	22.7	31.2	20.5	132.6
		Mean	11.0	20.8	31.4	18.4	$\Sigma=970.2$

Table 4

Coefficients of the PhenoGlad model (LAR_{max} , $rmax_s$, $rmax_v$, $rmax_h$, $rmax_f$, day-1) for the leaf appearance phase and the developmental phases planting to emergence (PL – VE), emergence to heading (EM - R1.0), and sub phases heading to blooming (R1 - R2), and blooming to end of floret senescence (R2 - R5) in ten cultivars of gladiolus. Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil.

Cultivar	LAR_{max}	CF	$rmax_s$	$rmax_v$	$rmax_h$	$rmax_f$
White Friendship	0.1853	0.59	0.0857	0.0190	0.0225	0.0628
Purple Flora	0.1597	1.01	0.0892	0.0187	0.0225	0.0708
Rose Friendship	0.1913	0.0	0.1066	0.0170	0.0221	0.0640
Amsterdam	0.1931	0.10	0.0951	0.0175	0.0241	0.0699
T704	0.1780	0.56	0.1045	0.0174	0.0171	0.0722
Peter Pears	0.1738	0.76	0.0886	0.0168	0.0229	0.0726
Green Star	0.1509	0.83	0.0747	0.0160	0.0203	0.0851
Jester	0.1429	1.55	0.0870	0.0157	0.0188	0.0653
White Goddess	0.1736	0.75	0.0985	0.0158	0.0256	0.0563
Gold Field	0.1666	2.42	0.0896	0.0135	0.0244	0.0627

Table 5

Percentage of model accuracy (PC), for predicting chilling and heat injuries with the PhenoGlad model in gladiolus grown in Santa Maria and Frederico Westphalen, RS, Brazil. n= number of observations.

Location	Chilling		Heat injury	
	PC (%)	n	PC (%)	n
Santa Maria	100	27	77.7	40
Frederico Westphalen	-	-	95.6	23

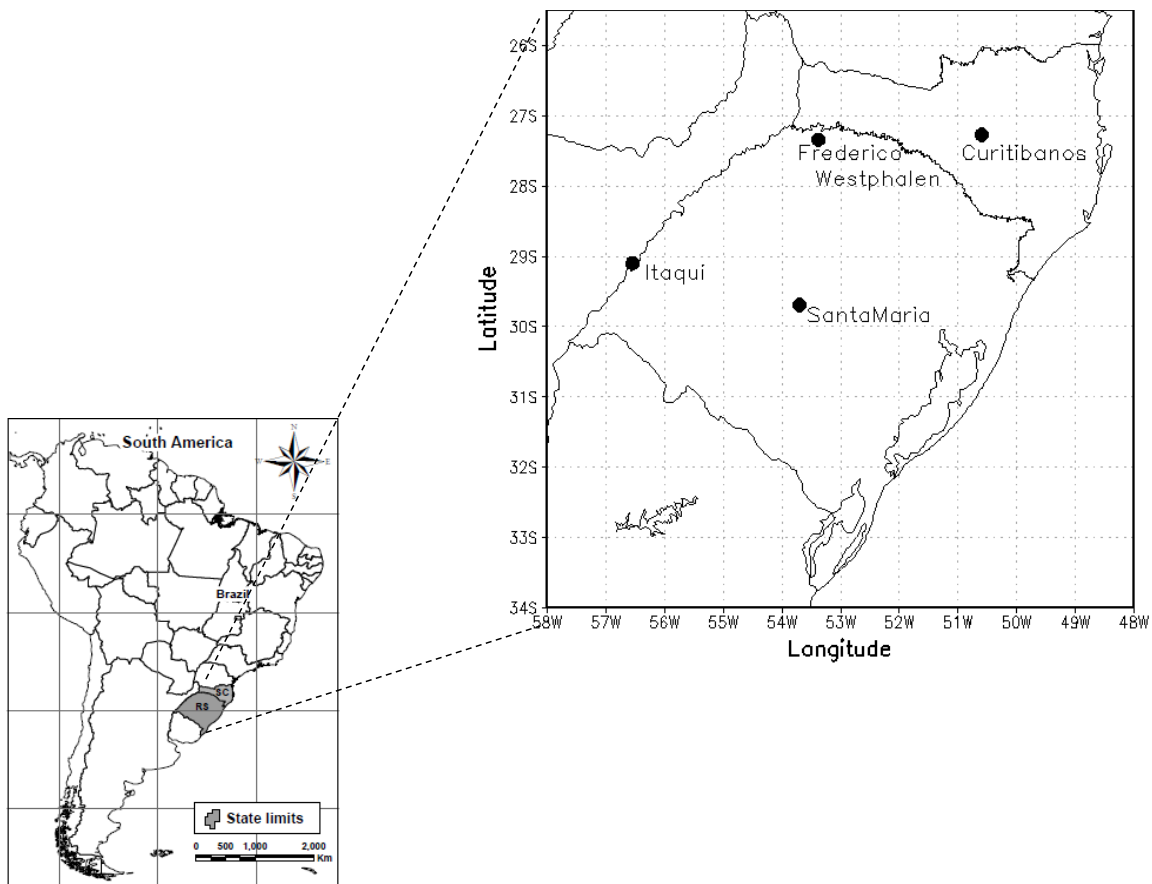


Fig. 1. Maps of South America and Brazil (A), and the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina (B) with the sites used for conducting the field experiments (Santa Maria, Itaqui, Frederico Westphalen, and Curitibanos). The field experiment on a commercial farm was in Santa Maria.

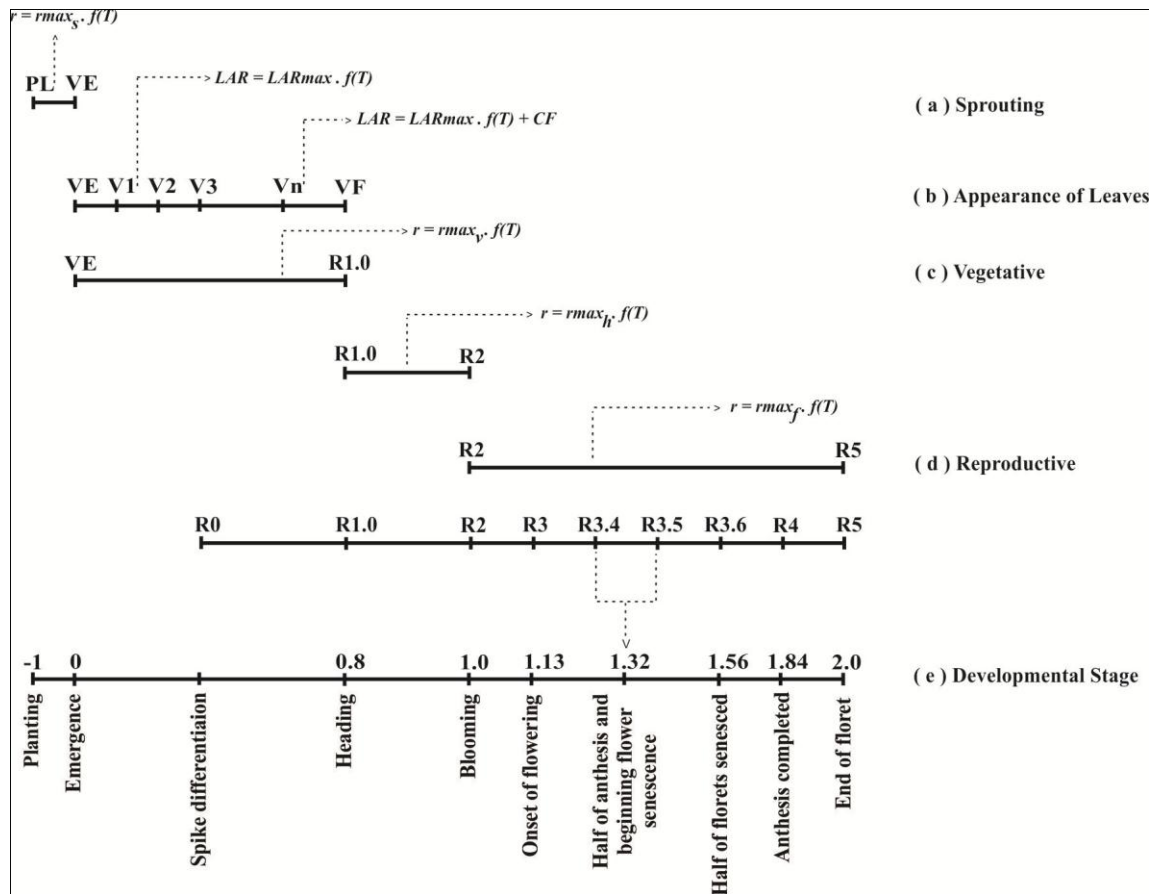


Fig. 2. Schematic timeline and developmental sequence of gladiolus simulated in PhenoGlad. Developmental cycle was divided into main phases (a, c, d) and sub-phases (sub-division within each main phase). The sequence of vegetative stages (V1, V2, V3, ..., Vn) in (b) comprises the appearance of leaves during the vegetative main phase. Equations used in simulating each of the main phases and sub-phases are shown. Coding number of each developmental stage are shown in (e). LAR = leaf appearance rate (leaves day^{-1}), LAR_{\max} = maximum leaf appearance rate (leaves day^{-1}), $f(T)$ = temperature function, CF = correction factor for higher leaf appearance rate of the uppermost leaves, VF = flag leaf, r = developmental rate (day^{-1}), r_{\max_s} = maximum developmental rate (day^{-1}) during the sprouting main phase, r_{\max_v} = maximum development rate (day^{-1}) during the vegetative main phase, r_{\max_h} = maximum developmental rate (day^{-1}) during the heading sub-phase, r_{\max_f} = maximum developmental rate (day^{-1}) during the flowering sub-phase. Dashed arrow in (d) indicates that the R-Stages R3.4 and R3.5 occur simultaneously.

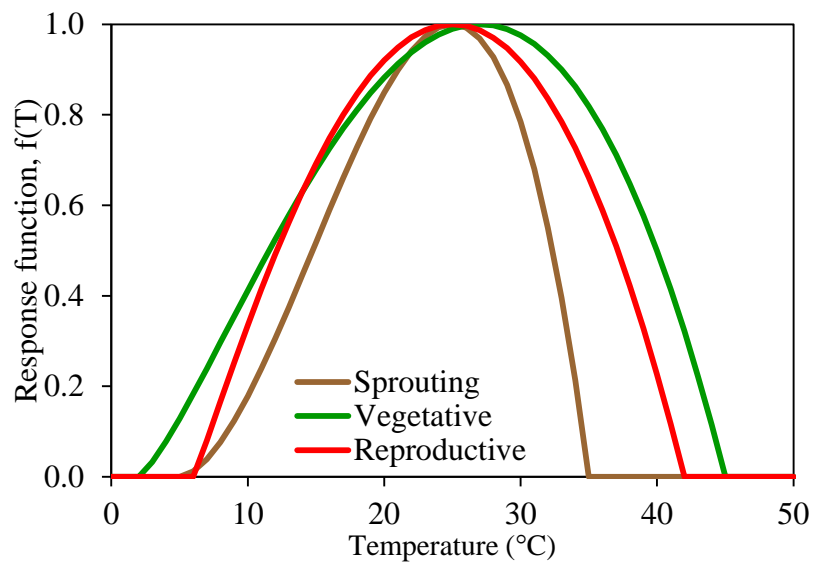


Fig. 3. Temperature response functions $f(T)$ used in PhenoGlad to simulate the developmental phases of gladiolus: sprouting phase ($T_b = 5^{\circ}\text{C}$, $T_{opt} = 25^{\circ}\text{C}$ and $T_B = 35^{\circ}\text{C}$), vegetative phase ($T_b = 2^{\circ}\text{C}$, $T_{opt} = 27^{\circ}\text{C}$ and $T_B = 45^{\circ}\text{C}$), and reproductive phase ($T_b = 6^{\circ}\text{C}$, $T_{opt} = 25^{\circ}\text{C}$ and $T_B = 42^{\circ}\text{C}$).

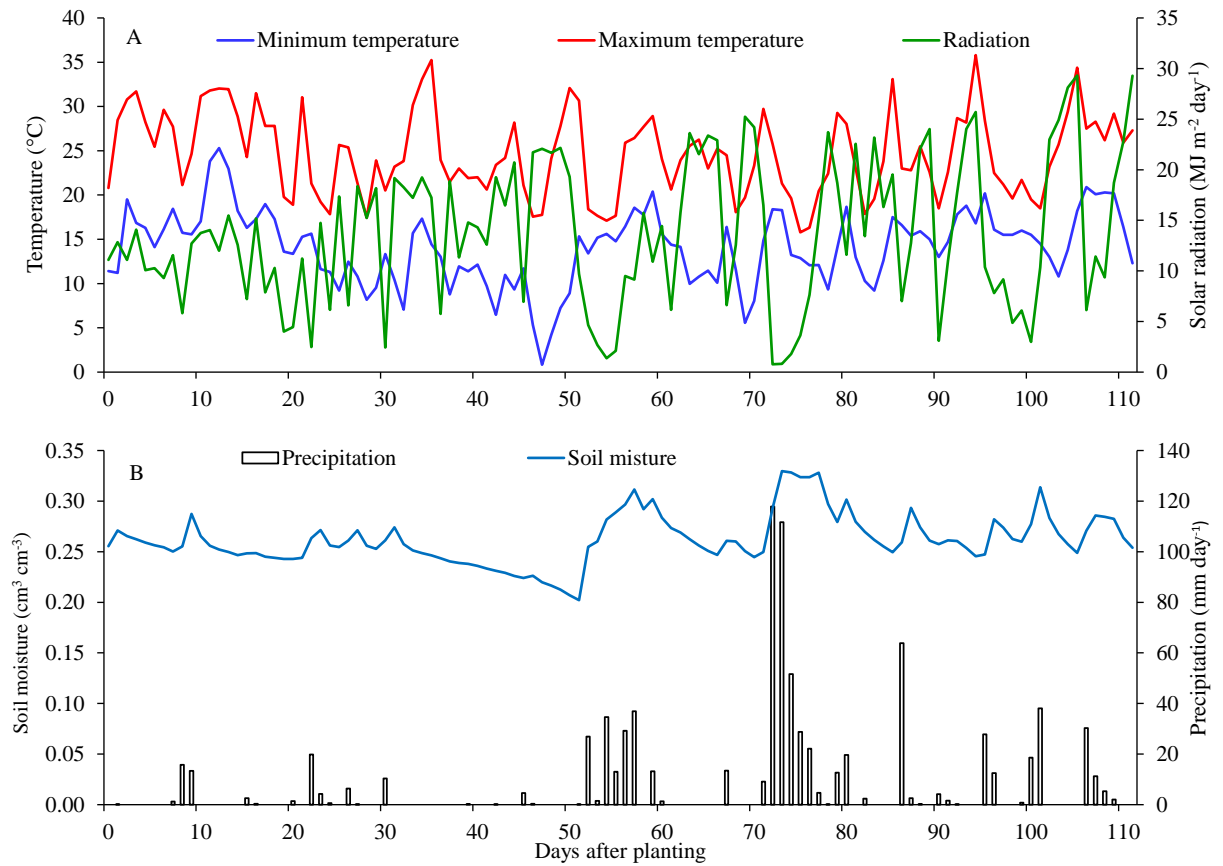


Fig. 4. Daily minimum and maximum air temperatures ($^{\circ}\text{C}$) and solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (A), and soil moisture ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), and precipitation (mm day^{-1}) (B) during the on-farm experiment in Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil, in 2015.

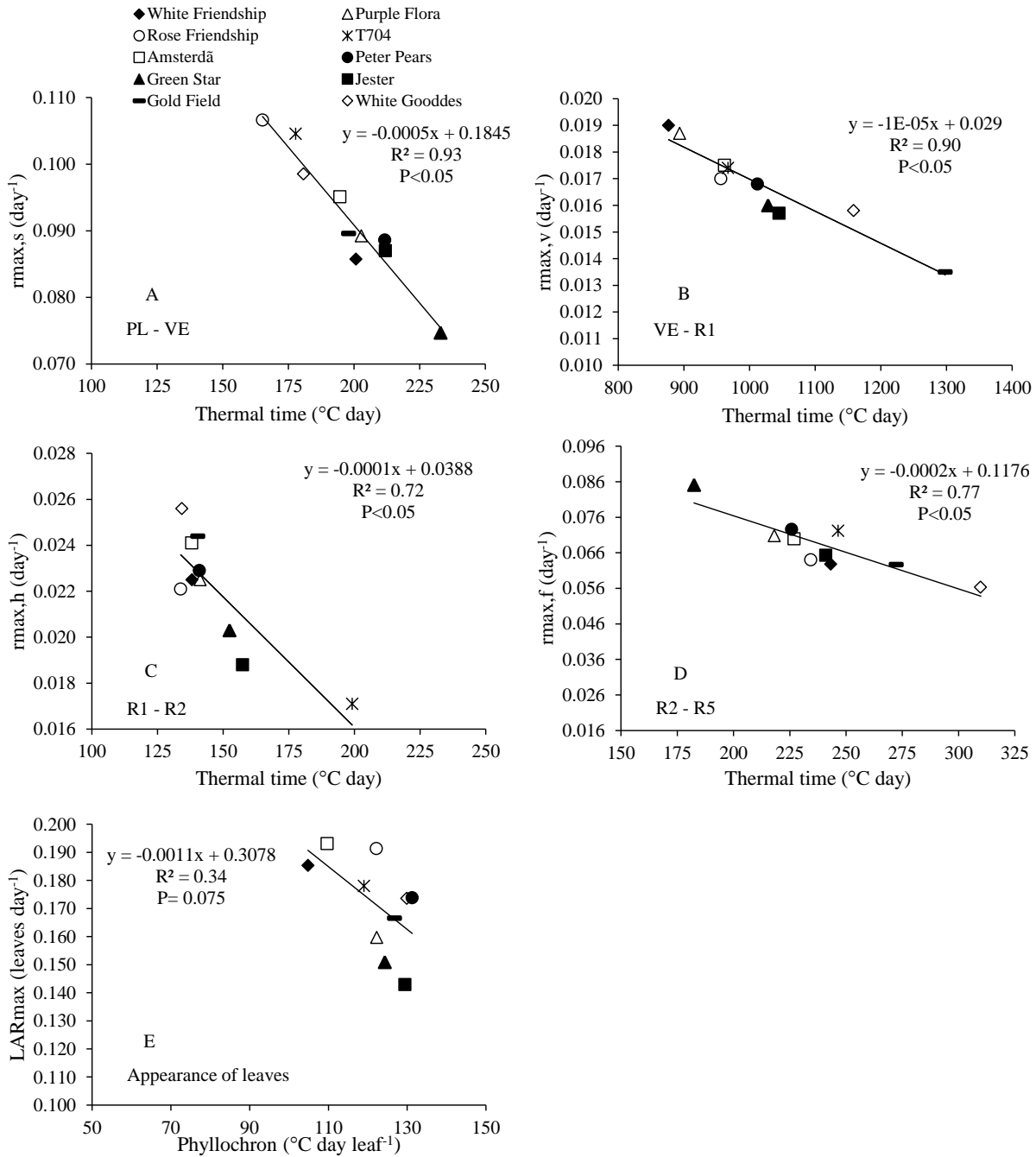


Fig. 5. Relationship between r_{max_s} x and accumulated thermal time during the sprouting phase (A), r_{max_v} x and accumulated thermal time during the vegetative phase (B), r_{max_h} x and accumulated thermal time during the heading sub-phase (C), r_{max_f} x and accumulated thermal time during the flowering sub-phase (D) and LAR_{max} x phyllochron during the appearance of leaves phase (E) for 10 gladiolus cultivars.

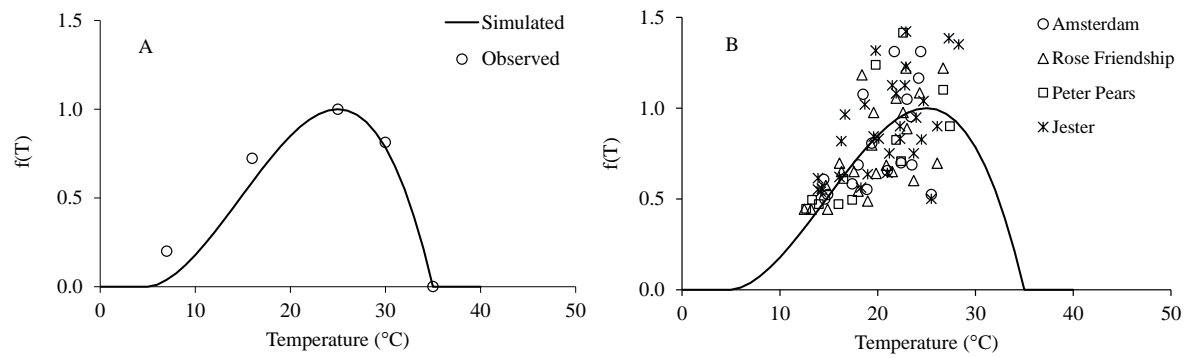


Fig. 6. Temperature response function $f(T)$ used in the PhenoGlad model for the sprouting developmental phase. The circles are the observed values for cultivar Amsterdam performed in a controlled environment experiment (panel A) and for cultivars Amsterdam, Rose Friendship, Peter Pears and Jester in field experiments conducted in Santa Maria from 2011 to 2013 (panel B).

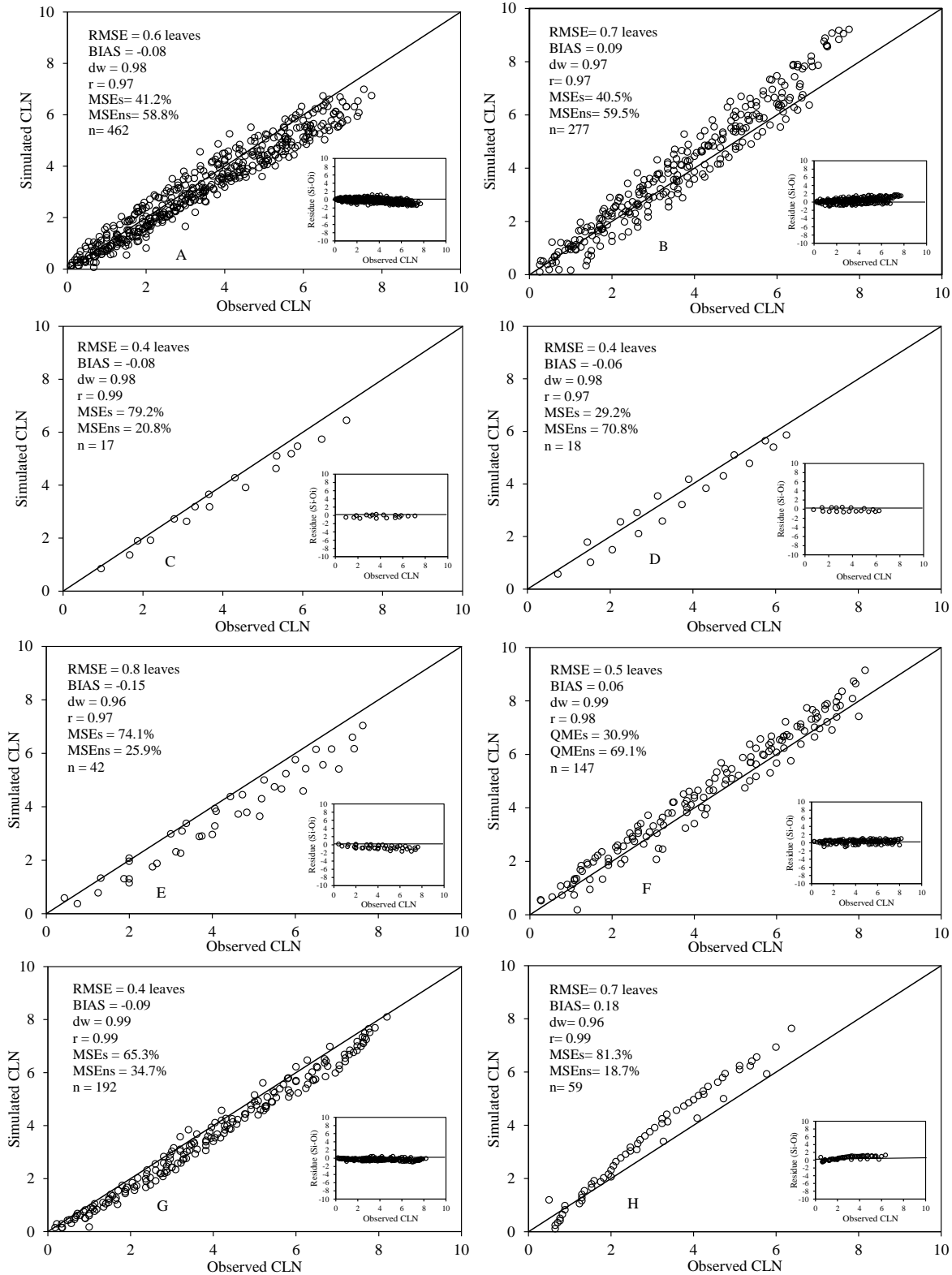


Fig. 7. The simulated versus observed cumulative leaf number (CLN) in eighth cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Amsterdam, G= Peter Pears, H= T704) with the PhenoGlad model in Santa Maria, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.

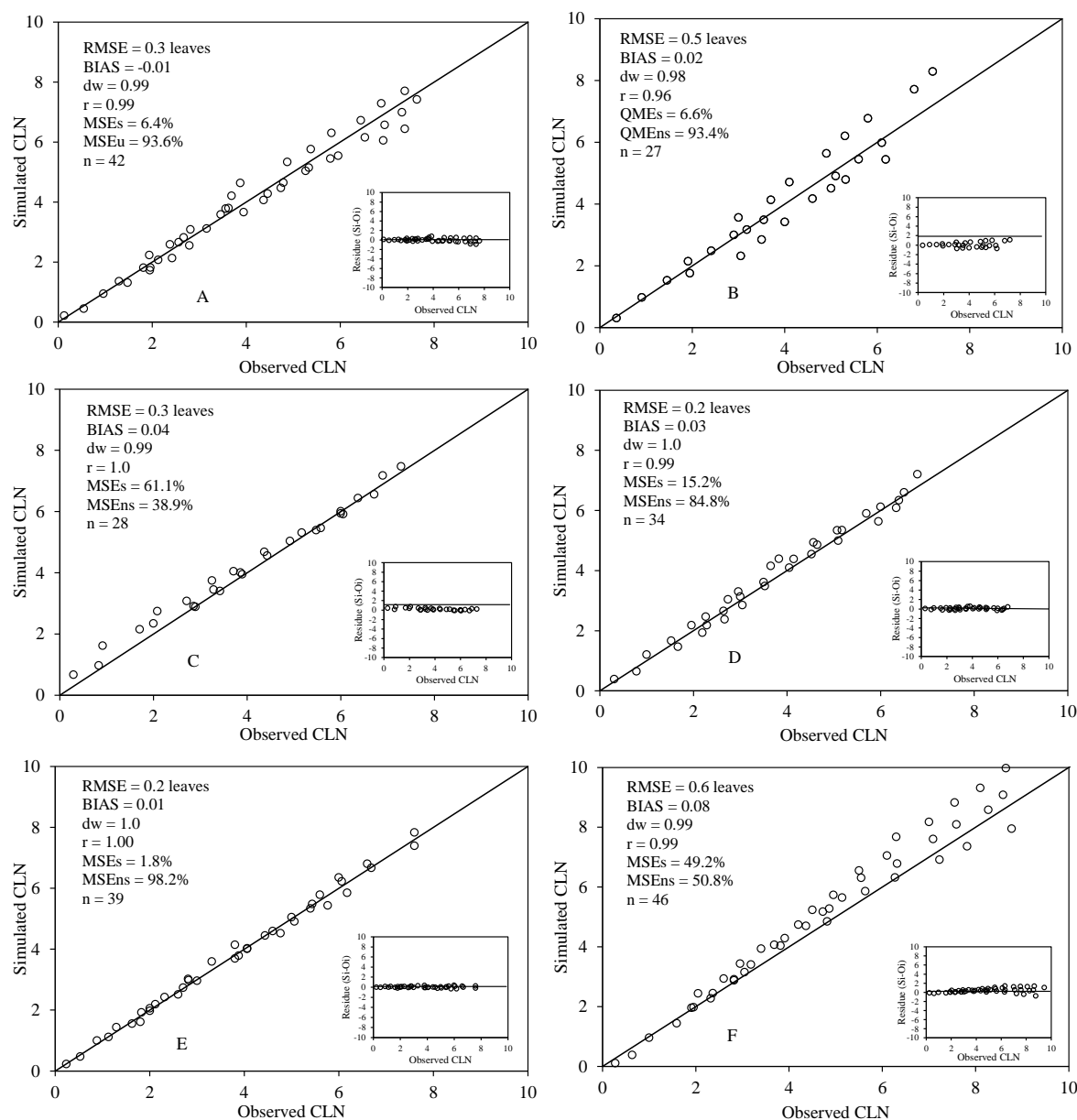


Fig. 8. The simulated versus observed cumulative leaf number (CLN) in six cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Gold Field) with the PhenoGlad model in Itaqui, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.

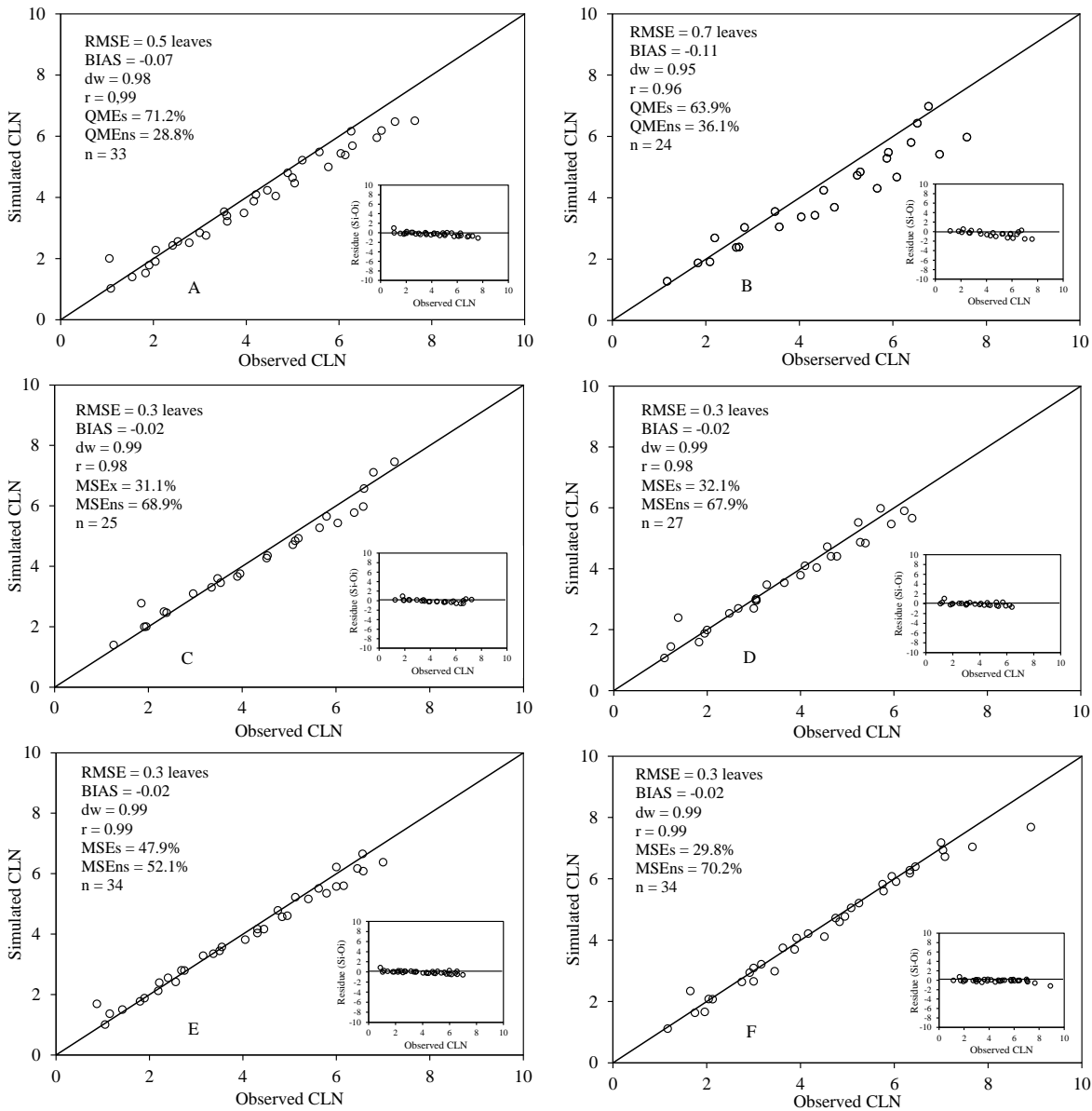


Fig. 9. The simulated versus observed cumulative leaf number (CLN) in six cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Gold Field) with the PhenoGlad model in Frederico Westphalen, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.

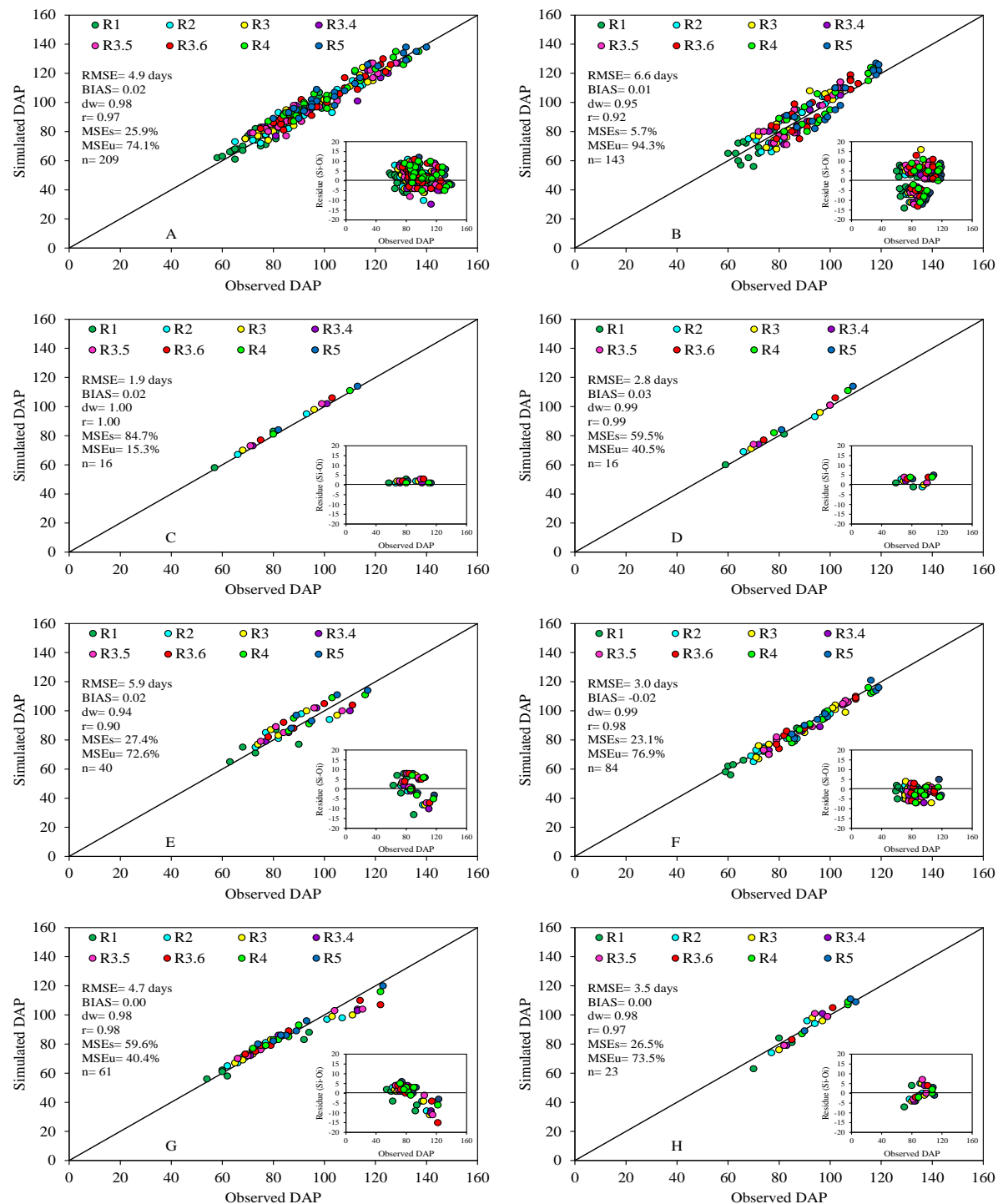


Fig. 10. The simulated versus observed days after planting (DAP) of heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and, end of floret senescence (R5) in eight cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Amsterdam, G= Peter Pears, and H= T704) with the PhenoGlad model in Santa Maria, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.

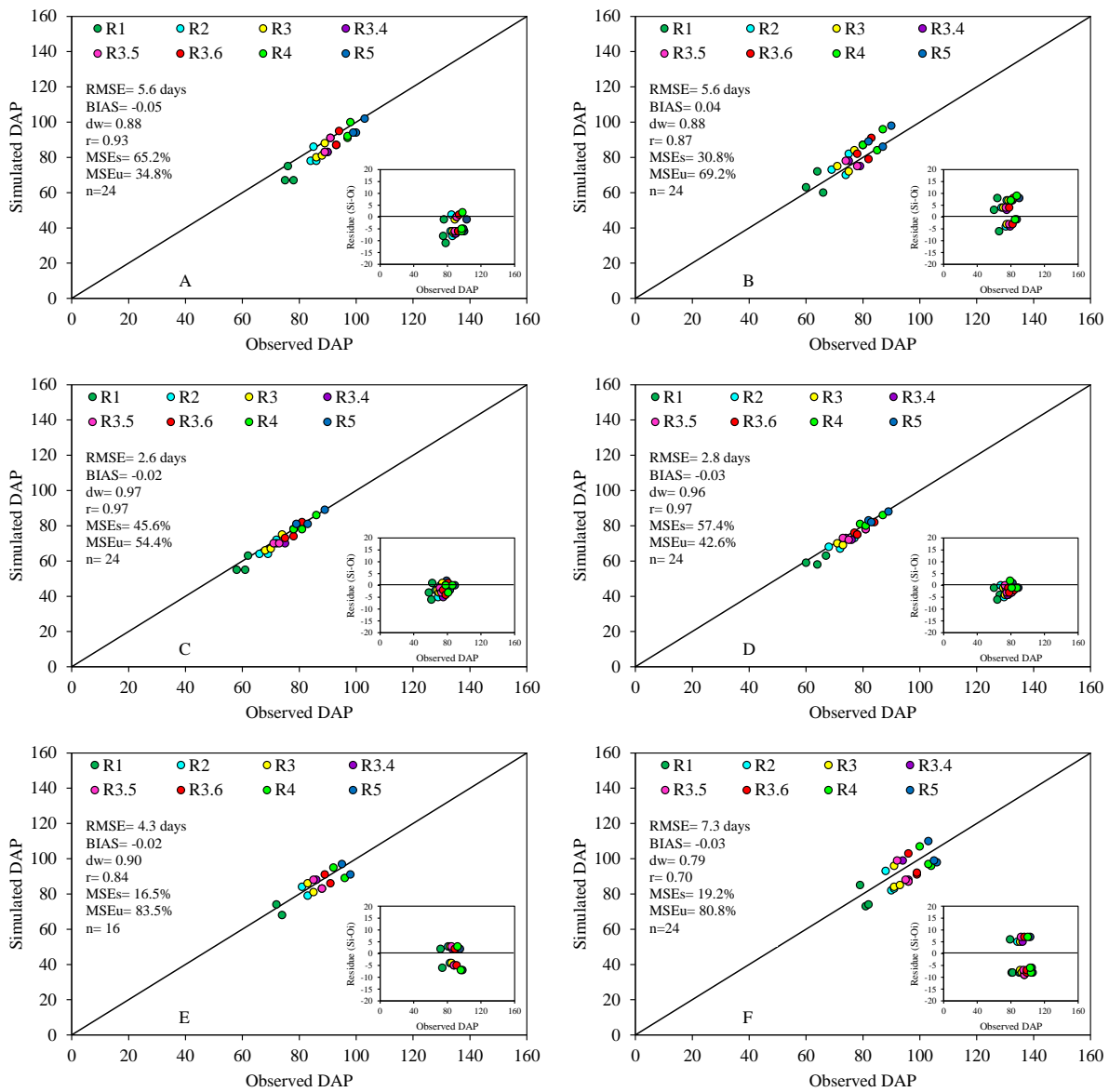


Fig. 11. The simulated versus observed days after planting (DAP) of heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in six cultivars of gladiolus: Jester (A), Rose Friendship (B), White Friendship (C), Purple Flora (D), Green Star (E), Gold Field (F) with the PhenoGlad model in Itaquí, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.

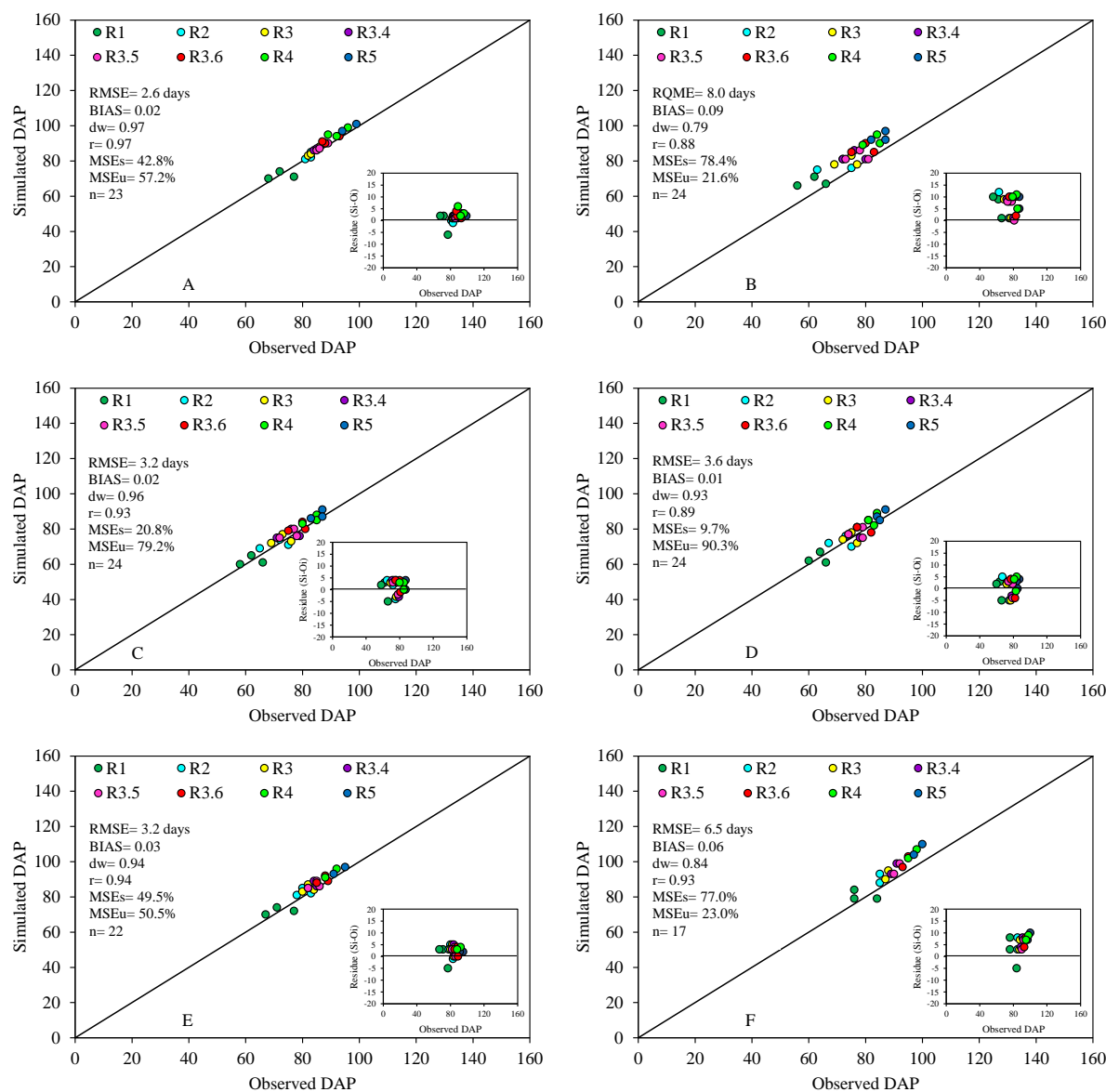


Fig. 12. The simulated versus observed days after planting (DAP) of heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in six cultivars of gladiolus: Jester (A), Rose Friendship (B), White Friendship (C), Purple Flora (D), Green Star (E), Gold Field (F) with the PhenoGlad model in Frederico Westphalen, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.

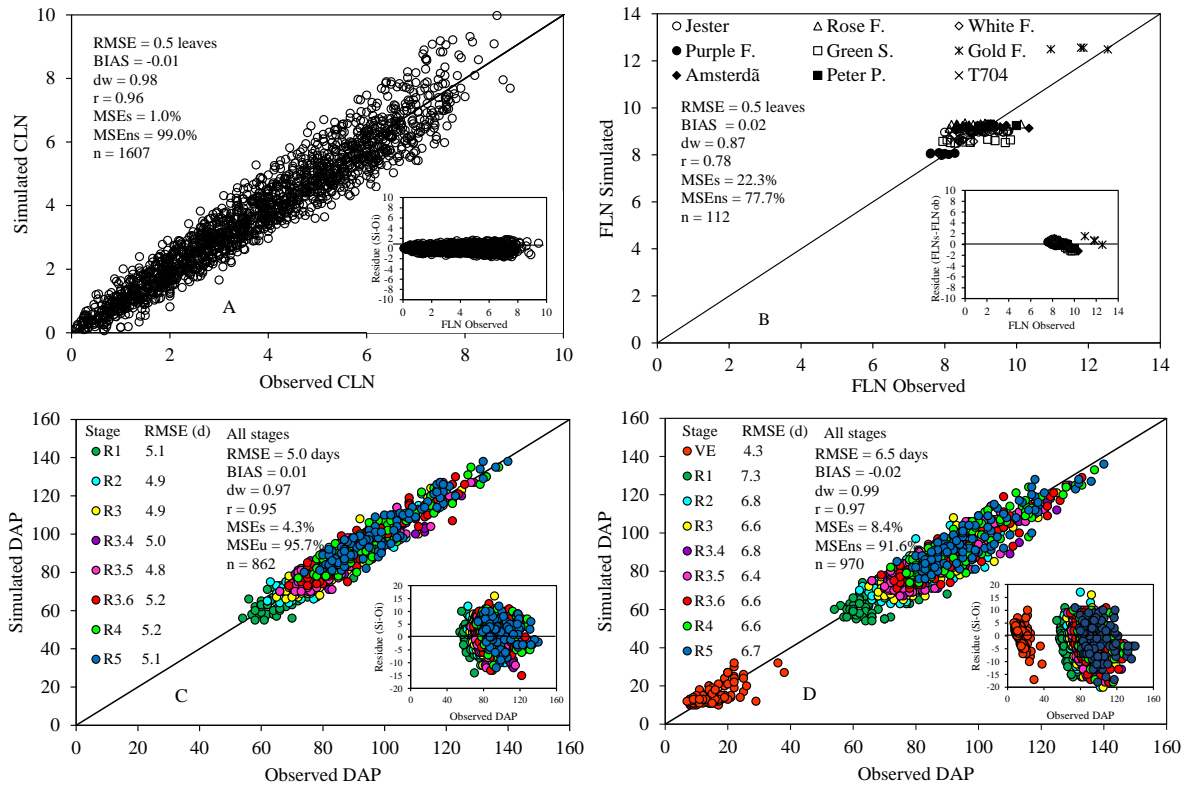


Fig. 13. The simulated versus observed cumulative leaf number (A), final leaf number (B), and days after planting (DAP) with the PhenoGlad model run starting at emergence (C) and days after planting (DAP) with the PhenoGlad model run starting at planting (D) of the developmental stages emergence (VE), heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5). Data of all locations (Santa Maria, Itaqui and Frederico Westphalen) and planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.

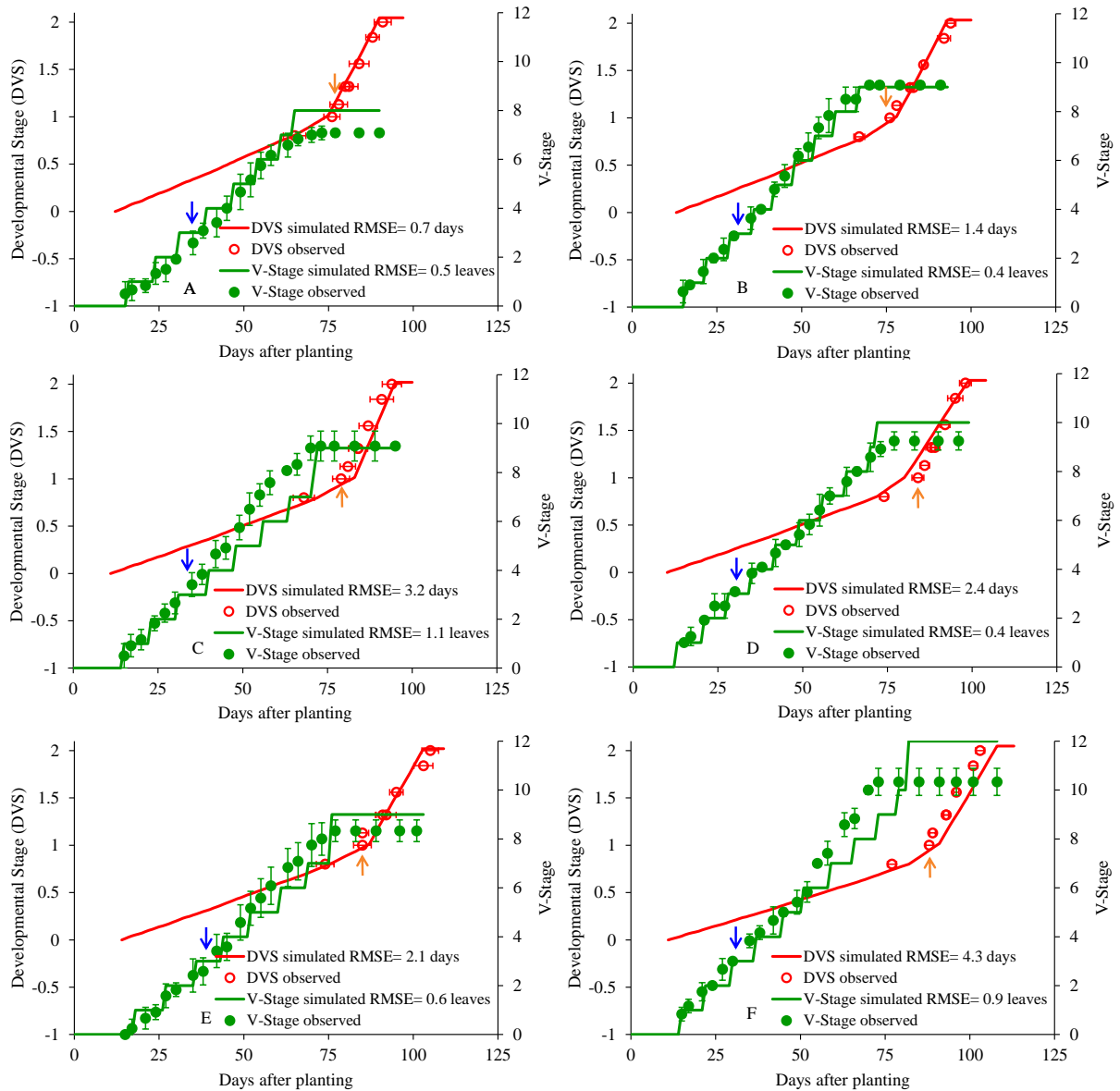


Fig. 14. Developmental stage (DVS) and V-Stage as a function of days after planting for six gladiolus cultivars (A= Purple Flora, B= Amsterdam, C= Green Star, D= White Goddess, E= Jester, F= Gold Field) grown in Curitiba, SC, Brazil, as observed and simulated with PhenoGlad run from emergence. Arrows represent the timing of nitrogen side dressing at V3-stage (blue arrow) and harvest point (orange arrow). Planting date was on 29 Sep. 2015.

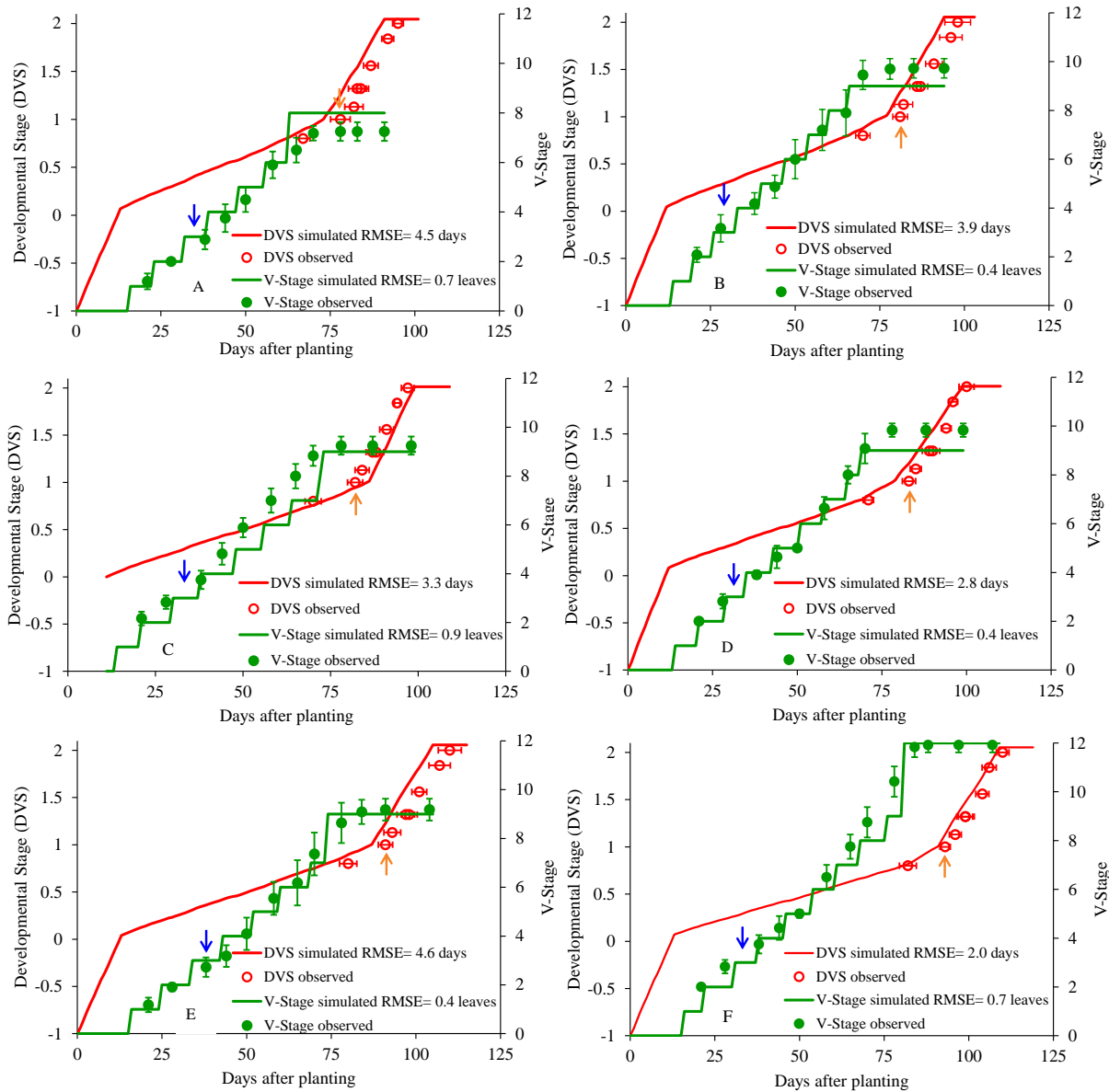


Fig. 15. Developmental stage (DVS), and V-Stage as a function of days after planting for six gladiolus cultivars (A= Purple Flora, B= Amsterdam, C= Green Star, D= White Goddess, E= Jester, F= Gold Field) grown in a commercial farm in Santa Maria, RS, Brazil, as observed and simulated with PhenoGlad. The model was run from planting for all cultivars, except for cultivar Green Star, which was run started from emergence. Arrows represent the timing of nitrogen side dressing at V3-stage (blue arrow) and harvest point (orange arrow). Planting date was on 27 Jul. 2015.

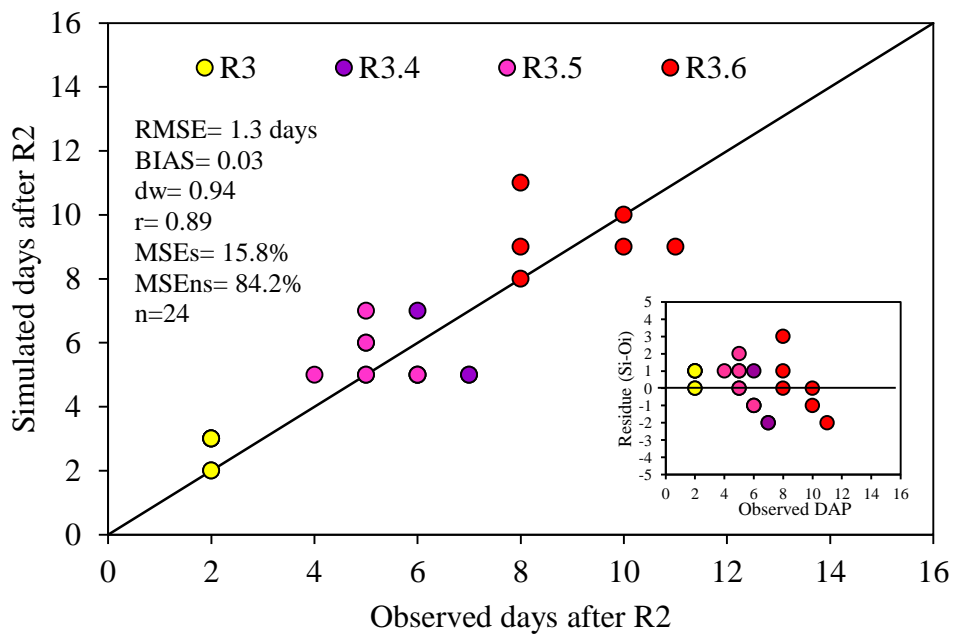


Fig. 16. The simulated versus observed days after harvest (R2) of onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5) and half of florets senesced (R3.6) in six gladiolus harvested spike cultivars: Purple Flora, Amsterdam, White Goddess, Green Star, Jester and Gold Field with the PhenoGlad model. The solid line is the 1:1 line. Inset is the residues. RMSE = root mean square error. Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul State, Brazil.

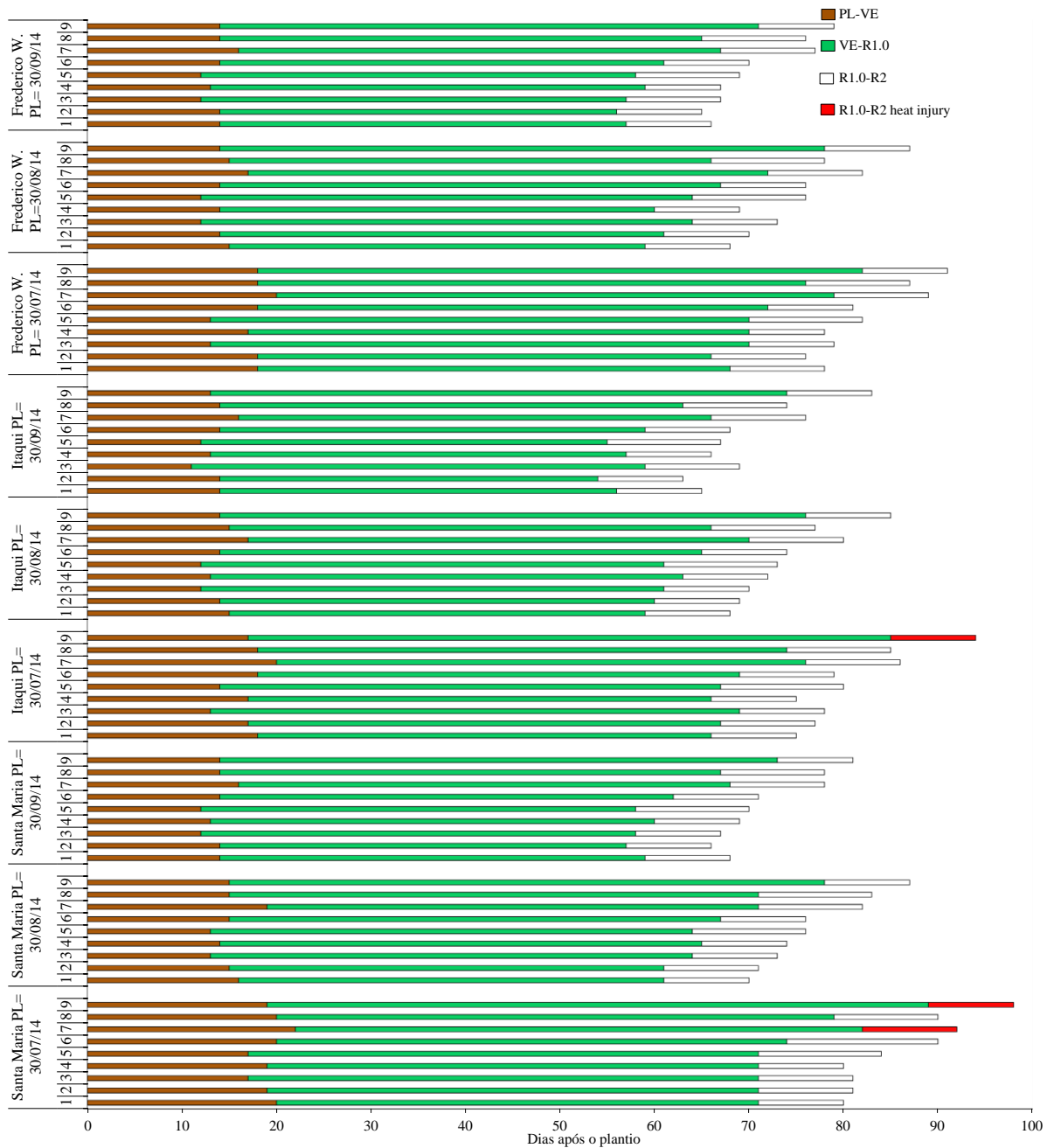


Fig. 17. Duration (days) of the phases planting to emergence (PL-VE), emergence to heading (VE-R1.0), and heading to flowering (R1.0-R2), of nine gladiolus cultivars (1= White Friendship, 2=Purple Flora, 3=Rose Friendship, 4= Amsterdam, 5= T704, 6= Peter Pears, 7= Green Star, 8= Jester and 9= Gold Field) simulated with the PhenoGlad model for three planting dates (30 Jul. 2014, 30 Aug. 2014, and 30 Sep. 2014) in Santa Maria, Itaqui and, Frederico Westphalen, RS, Brazil.

4. DISCUSSÃO GERAL

As diferentes cultivares, datas de plantio e locais permitiram que as plantas se desenvolvessem em diferentes temperaturas e tipos de solo. Isso é importante em estudos de fenologia e para testar a robustez do modelo PhenoGlad em simular a data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento de gladiolo em condições externas à faixa de ambiente em que o modelo foi calibrado. O modelo também tem aplicações práticas, como auxiliar os produtores na definição das melhores épocas de plantio dos cormos, o que é importante pois a qualidade das hastes de gladiolo é afetada pela data de plantio. Essa informação também é útil para os produtores definirem as melhores épocas de plantio para que a colheita das hastes de cultivares de gladiolo com diferentes ciclos de desenvolvimento possa ser realizada próxima dos picos de consumo do mercado.

As épocas mais indicadas para plantio dos cormos de gladiolo na região da Depressão Central do RS são o final do inverno e início da primavera (entre os meses de julho a setembro) e final do verão e início do outono (entre os meses de fevereiro a abril) (Schwab et al., 2015b). Estas épocas são mais apropriadas para a melhor qualidade das hastes, pois possibilita sua colheita antes dos meses mais quentes do ano e antes dos meses mais frios. A sub-fase de espigamento é a mais sensível a danos por baixas e altas temperaturas, o que deprecia a qualidade do produto e pode diminuir seu preço final.

Na Figura 17, com o modelo PhenoGlad rodando em três épocas de plantio (30/07/2014, 30/08/2014 e 30/09/2014) para diferentes locais (Santa Maria, Itaqui e Frederico Westphalen), podemos perceber que entre locais não houve muita diferença no ciclo de desenvolvimento das cultivares. Não foi percebido um padrão, ou seja, nem sempre o mesmo local apresentou uma menor ou maior duração do ciclo de desenvolvimento das diferentes fases de desenvolvimento. A resposta mais expressiva foi a de diminuição no ciclo de desenvolvimento conforme a simulação foi realizada nos meses mais quentes do ano.

O modelo emitiu um alerta de queimadura nas hastes de duas cultivares para Santa Maria (Jester e Gold Field) e para a cultivar Gold Field em Itaqui (Figura 17), em ambos os locais para a data de plantio mais cedo 30/07/2014. Este fato ocorreu pois a primavera deste ano agrícola foi bastante quente apresentando uma onda de calor (3 dias consecutivos com temperatura máxima superior a 34°C), que causou queimadura nas hastes das cultivares de ciclo de desenvolvimento mais longo. Devido a isso, recomenda-se que o plantio destas cultivares seja realizado antes das demais, de ciclo mais precoce, pois elas demoram mais para completar seu ciclo de desenvolvimento e a antecipação do seu plantio evitaria que as

plantas fossem expostas a temperaturas mais elevadas durante a sub-fase de espigamento. Nos experimentos de campo, foi observado que as cultivares Gold Field, Rose Friendship, White Friendship, Peter Pears e Green Star são mais sensíveis a queimaduras nas sépalas, podendo ser ocasionado pois as quatro primeiras são cultivares mais antigas e não foram melhoradas geneticamente nesse sentido. Devido a isso, indica-se evitar o plantio destas cultivares em épocas do ano em que a sub-fase de espigamento ocorra durante os meses mais quentes do ano.

De acordo com as observações realizadas nos experimentos de campo, para as condições da região da Depressão Central do RS, os meses de inverno, com baixa radiação solar, alta umidade e alta frequência de nevoeiros também podem depreciar a qualidade das hastes de gladiolo. Esta condição causa apodrecimento dos floretes, principalmente os localizados na porção apical da espiga e também aumenta a pressão de doenças fúngicas, como a ferrugem e a fusariose. A pressão destas doenças também é maior durante os meses mais quentes do ano, se estes forem acompanhados por altos índices pluviométricos. As cultivares Green Star, Peter Pears e T704 foram as que apresentaram a maior susceptibilidade ao apodrecimento de floretes nos experimentos de campo.

O modelo PhenoGlad mostrou uma boa estabilidade entre cultivares, datas de plantio e locais, como é mostrado pelos baixos valores de RMSE, especialmente para a fase de emissão de folhas (Figuras 7 – 9) para Santa Maria, Itaqui e Frederico Westphalen, respectivamente. Para simular a fenologia a partir da emergência para Santa Maria, algumas cultivares apresentaram um valor de RMSE maior, como a cultivar Rose Friendship (Figura 10B). Isso pode ter sido ocasionado pois em algumas épocas as plantas desta cultivar apresentavam-se bastante desuniformes, o que pode ter ocasionado uma variação nos dados observados. A cultivar Green Star foi a que apresentou segundo maior valor de RMSE para este local (5,9 dias), o que pode ser em virtude desta cultivar ter alta sensibilidade a doenças, o que pode ter ocasionado variação no seu ciclo de desenvolvimento.

Já o desempenho do modelo PhenoGlad em simular a fenologia para Itaqui (Figura 11) e Frederico Westphalen (Figura 12), o maior RMSE foi para a cultivar Gold Field (7,3 dias e 6,5 dias, respectivamente) e para a cultivar Rose Friendship em Frederico Westphalen (8 dias, Figura 12B). Para a cultivar Gold Field, esse maior valor de RMSE pode ter sido ocasionado pois a calibração do modelo PhenoGlad foi realizada para esta cultivar com 3 épocas de plantio dentro de uma mesma estação de crescimento em Santa Maria, sem muita variação entre estas datas (Tabela 2). Para a maioria das outras cultivares (com exceção da

cultivar T704), a calibração do modelo foi realizado com 4 épocas de plantio em diferentes épocas do ano, possibilitando uma maior variação do ciclo de desenvolvimento.

Como nos experimentos de Itaqui e Frederico Westphalen não havia irrigação, os valores de RMSE um pouco mais elevados para algumas cultivares em relação às mesmas cultivares no experimento de Santa Maria podem ter sido ocasionados pelo déficit hídrico. Este fator pode causar encurtamento no ciclo de desenvolvimento da cultura (PAIVA et al., 2012). Já o excesso hídrico pode retardar o ciclo, mas, como o experimento era a campo e este fator não pode ser controlado, ele pode ter influenciado nos valores de RMSE. A prática de manejo adotada para minimizar o excesso hídrico nos experimentos foi levantar os canteiros e manter a área bem drenada para que, após períodos de chuva intensa, a água possa escoar para fora da área experimental e não ficar acumulada entre os canteiros.

Valores de RMSE entre 5 – 8 dias apresentados pelo modelo para algumas cultivares podem ser considerados altos, principalmente quando o modelo é usado para simular a data de colheita das hastes. Porém, se o modelo errar este período de tempo e as hastes ficarem prontas para comercialização antes da data de colheita, o produtor pode colher as hastes em R2 e armazená-las em câmara fria. Próximo ao período de comercialização (2 – 3 dias antes, para mercados próximos ao local de comercialização), o produtor pode retirar as hastes da câmara e deixá-las a temperatura ambiente que os botões abrirão normalmente.

Os valores de RMSE apresentados pelo modelo PhenoGlad para algumas cultivares sugerem que o modelo precisa passar por melhorias, como incluir mais épocas de calibração para a cultivar Gold Field. Além disso, aprimorar a fase de brotação dos cormos, que, de modo geral, apresentou um RMSE de 4,3 dias para estimar a data do VE (Figura 13D) e incluir o efeito da umidade do solo sobre o desenvolvimento da cultura. Porém, este é o primeiro esforço de criar um modelo de fenologia para a cultura do gladiolo e a inclusão de novos parâmetros e processos no modelo serão necessários para melhorar seu desempenho. Esse processo de melhoria dos modelos é comum na área de modelagem matemática de culturas agrícolas. Além disso, serão concentrados esforços para a adição de mais cultivares no modelo, visto que no mercado de flores o lançamento de novas cultivares no mercado é frequente.

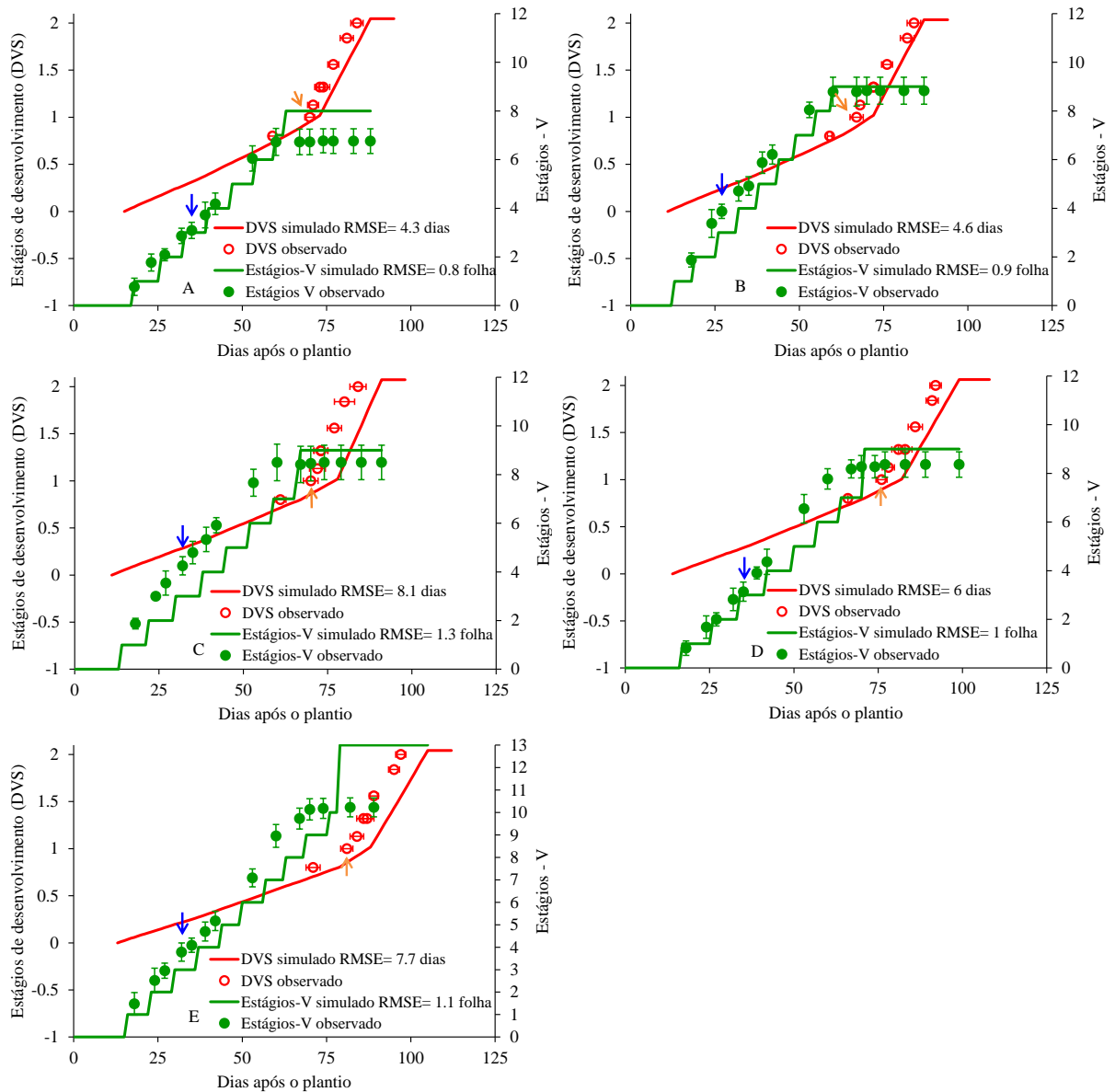
Assim, o modelo tem aplicação a campo, sendo apropriado para prever a data de ocorrência de estágios relacionados a práticas de manejo a campo em gladiolo, como adubação nitrogenada de cobertura (em V3) e data de colheita (R2), o que é útil para auxiliar os produtores na programação destas práticas de manejo. Outro exemplo de aplicação a

campo do modelo e de seu bom desempenho em distintas condições de ambiente é mostrado na Figura 2.

Uma segunda época de plantio foi realizada em Curitiba – SC, sendo o plantio em 30 de outubro de 2015, para que as plantas fossem expostas a temperaturas mais elevadas em comparação à primeira época, em que o plantio foi realizado em 29 de setembro de 2015. O modelo foi rodado a partir da emergência e mostrou bom desempenho em simular a data de ocorrência dos estágios vegetativos de cinco cultivares de gladiolo (Purple Flora, Amsterdã, Green Star, Jester e Gold Field), como RMSE variando de 0,8 folhas para a cultivar Purple Flora (Figura 2A) a 1,3 folhas para a cultivar Green Star (Figura 2C). O modelo simulou bem a data de ocorrência dos estágios reprodutivos, com RMSE variando de 4,3 e 4,6 dias para as cultivares Purple Flora e Amsterdam, respectivamente (Figura 2A, B).

Já o desempenho do modelo para as demais cultivares (Green Star, Jester e Gold Field) foi razoável, com RMSE variando de 6 a 8,1 dias. Estes maiores valores de RMSE foram devidos ao modelo ter simulado a data dos estágios reprodutivos depois que eles ocorreram a campo, ou seja, o modelo foi um pouco mais lento. Devido ao aumento da temperatura, as plantas encurtaram seu ciclo a campo e o modelo não acompanhou esta resposta mais rápida. O erro foi maior para as cultivares de ciclo Intermediário II a Tardio (Green Star, Jester e Gold Field) e menor na de ciclo Precoce e Intermediário I (Purple Flora e Amsterdam). O maior RMSE foi para a cultivar Green Star (8,1 dias, Figura 2C), provavelmente pois algumas plantas sofreram com o ataque de doenças no experimento, o que ocasionou perda de algumas plantas das parcelas. Essa doença também pode ter afetado o ciclo de desenvolvimento a campo, contribuindo para os maiores valores de RMSE desta cultivar.

Figura 2 - Estágios de desenvolvimento (DVS) simulado e observado e estágios vegetativos (Estágios-V) em função de dias após o plantio observados a campo e simulados com o modelo PhenoGlad rodado a partir da emergência para cinco cultivares de gladiolo (A= Purple Flora, B= Amsterdam, C= Green Star, D= Jester, E= Gold Field) cultivados em Curitiba – SC, Brasil. A data de plantio foi em 30 de outubro de 2015. As setas em azul representam o momento de aplicação da adubação nitrogenada de cobertura no estágio V3 e as setas em alaranjado o ponto de colheita das hastes em R2.



Fonte: a Autora.

O produto gerado na dissertação é um aplicativo com interface de fácil entendimento (Figuras 3 e 4) que tornará o modelo mais simples para ser utilizado por um número maior de usuários, como por exemplo, estudantes, professores, extensionistas e produtores, pois o código fonte do modelo foi desenvolvido em linguagem FORTRAN 77. A este simulador foi dado o nome de PhenoGlad (“Pheno” de “Fenologia” e “Glad” do nome científico do gladiolo “*Gladiolus x grandiflorus* Hort.”). A interface do modelo e seu tutorial está disponível para download gratuito na versão em português e inglês, a fim de aumentar a visibilidade do modelo.

Figura 3 - Tela inicial do PhenoGlad, versão em português, onde o usuário deve informar os dados de entrada para realizar a simulação.

ARQUIVOS EDITAR AJUDA

PhenoGlad

SIMULAÇÃO TABELAS GRÁFICOS

Universidade Federal de Santa Maria 1960

1 **INSERIR DADOS METEOROLÓGICOS**

SEM DADOS

2 Cultivar ou Ciclo

cultivar/ciclo

3 Plantio ou Emergência

a partir de plantio/emergência

No. de anos a simular

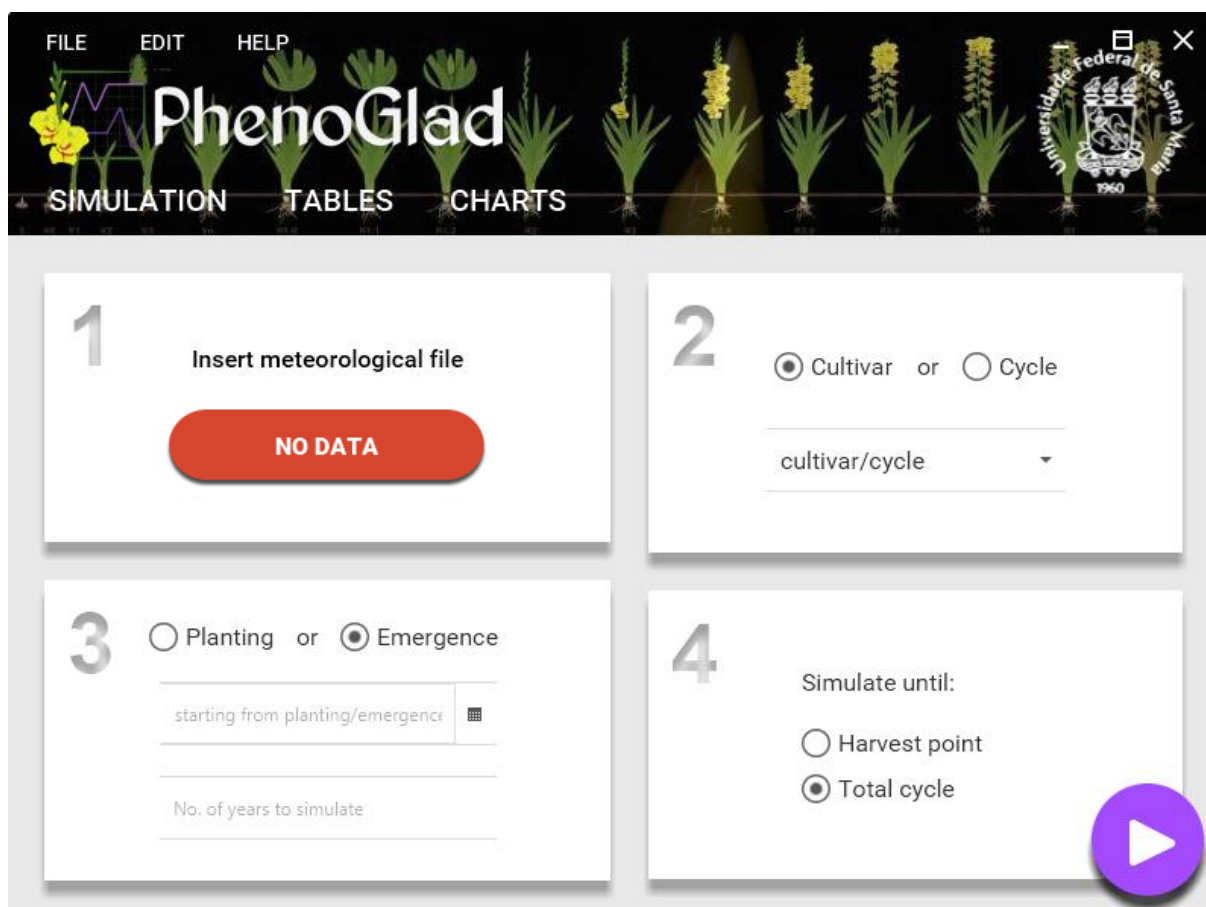
4 Simular até:

Ponto de colheita

Ciclo total

Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

Figura 4 - Tela inicial do PhenoGlad, versão em inglês, onde o usuário deve informar os dados de entrada para realizar a simulação.



Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

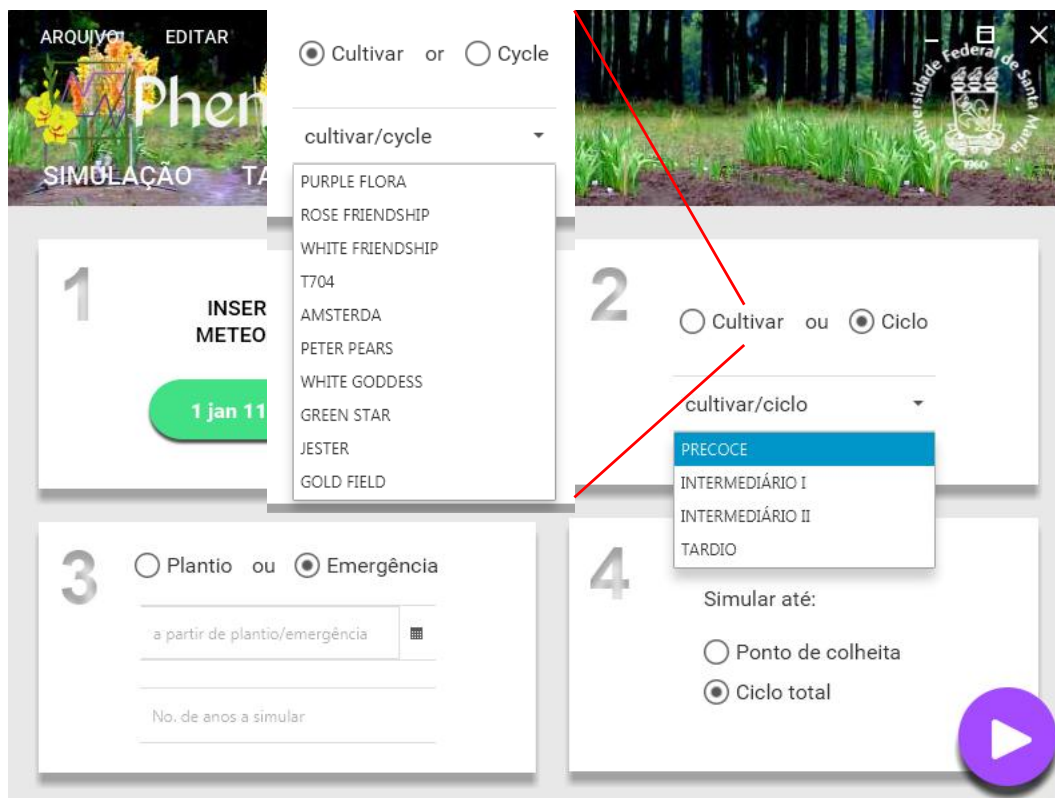
O PhenoGlad é um modelo matemático dinâmico determinístico que calcula a emissão de folhas e a fenologia da cultura do gladiolo. Dinâmico pois calcula os processos ao passo de um dia e determinístico pois as variáveis resposta de saída do modelo é um valor diário. Possui aplicações a campo, como descrever o dia de ocorrência dos estágios de desenvolvimento da cultura, incluindo o ponto de colheita e alertas sobre danos nas hastes florais por baixas e altas temperaturas. O programa possui duas abas: a aba simulação, na qual o usuário insere os dados necessários para realizar uma simulação e a aba resultados, que é dividida em resultados na forma de tabela e na forma gráfica (Figuras 3 e 4).

Para realizar uma simulação, o usuário precisa realizar quatro passos, de acordo com a sequência mostrada na tela principal, aba simulação (Figuras 3 e 4). Primeiro, o usuário precisa inserir os dados meteorológicos de entrada. O modelo PhenoGlad utiliza como dados

de entrada a temperatura mínima e máxima diárias do ar em formato *.txt*. Após a inserção dos dados, no passo 1 da interface, aparecerá uma janela indicando o período de dados meteorológicos inseridos no modelo. Se o arquivo de dados meteorológicos contiver algum erro, o programa alertará o usuário sobre este erro.

No segundo passo o usuário seleciona a cultivar desejada para realizar a simulação através de uma lista. Se a cultivar não consta nesta lista, ou se o usuário preferir, pode optar por simular pelo ciclo de desenvolvimento da cultura (Precoce, Intermediário I, Intermediário II ou Tardio) (Figura 5). É permitido ao usuário selecionar, no passo 3, se deseja iniciar a simulação a partir da data de plantio ou da data de emergência e digitar o número de anos a serem simulados, caso opte por realizar uma simulação multi-anos (Figura 6). No exemplo da figura, o usuário optou por realizar a simulação a partir da data de plantio 15/01/2011 para cinco anos.

Figura 5 - Cultivares de gladiolo e ciclos de desenvolvimento disponíveis no programa PhenoGlad.



Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

Figura 6 - Página de simulação do programa PhenoGlad mostrando a data de plantio selecionada com o ano inicial da simulação. Neste caso, a simulação será realizada para cinco anos com a mesma data de plantio (15 de janeiro) para cada ano.

The screenshot displays the PhenoGlad simulation interface with the following elements:

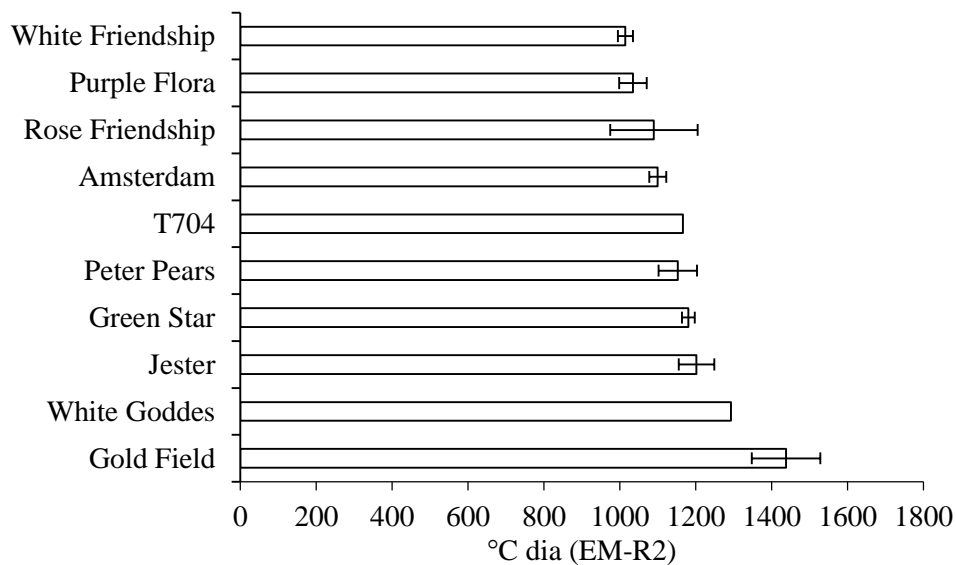
- Header:** Includes navigation links (ARQUIVO, EDITAR, AJUDA), the PhenoGlad logo, and the logo of Universidade Federal de Santa Maria (1960).
- Step 1:** "INSERIR DADOS METEOROLÓGICOS" with a green button indicating the period "1 jan 11 a 29 nov 15".
- Step 2:** Selection of "Cultivar" (selected) or "Ciclo", and a dropdown menu showing "JESTER".
- Step 3:** Selection of "Plantio" (selected) or "Emergência", a date input field with "15/01/2011", and a field with the value "5".
- Step 4:** Selection of "Ponto de colheita" (selected) or "Ciclo total". A purple play button is visible in the bottom right corner.

Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

No quarto passo o usuário pode optar por realizar a simulação até o ponto de colheita da cultura (R2) ou até o final do ciclo (R5). Mesmo que o usuário opte por simular até R2, o resultado detalhado da simulação será até R5. Após realizar os quatro passos, o usuário deve clicar no botão em roxo com uma seta para executar a simulação, em seguida o botão fica verde e torna a ficar roxo novamente, sinalizando que a simulação foi realizada.

A divisão do ciclo de desenvolvimento no modelo PhenoGlad em Precoce, Intermediário I, Intermediário II ou Tardio foi feito com base na Soma Térmica Acumulada (ST) no período EM – R2 das cultivares (Figura 7) usando as épocas de calibração para seu cálculo (Tabela 2). As cultivares White Friendship, Purple Flora e Rose Friendship foram classificadas de ciclo Precoce (ST acumulada durante o período VE – R2 menor do que 1090 °C dia). As cultivares Amsterdam, T704 e Peter Pears foram classificadas em ciclo Intermediário I (ST acumulada entre 1090,1 a 1160 °C dia) e as cultivares Peter Pears, Green Star e Jester de ciclo Intermediário II (ST acumulada entre 1160,1 a 1300 °C dia). Já a cultivar Gold Field foi classificada de ciclo tardio, com ST acumulada na fase EM – R2 maior do que 1300,1 °C dia.

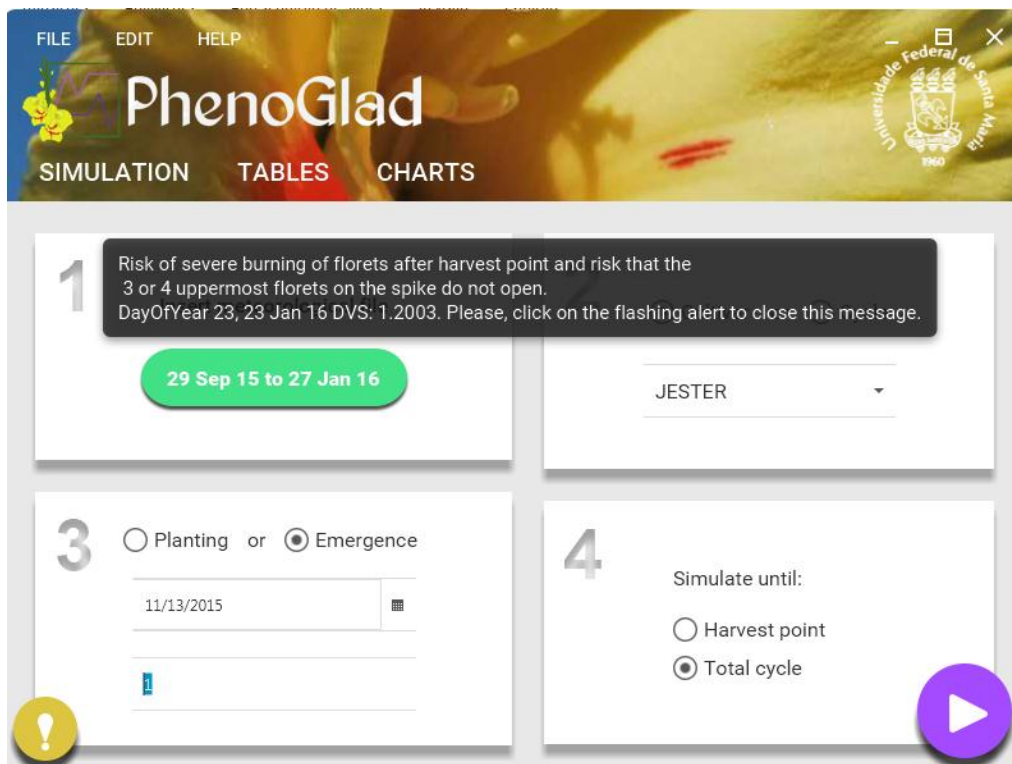
Figura 7 - Soma térmica acumulada (ST, em °C dia) durante a fase VE – R2 de dez cultivares de gladiólo.



Fonte: a Autora.

Após realizar a simulação, se no canto inferior esquerdo da tela aparecer um ponto de interrogação em amarelo ocorreu uma alerta de risco de dano na cultura durante a simulação. Juntamente com o botão em amarelo, aparecerá uma mensagem com um aviso sobre este dano, com o dia de ocorrência do mesmo e o DVS em que a cultura se encontrava no dia de ocorrência do dano (Figura 8). Se o alerta for de morte da planta, o ponto de interrogação aparecerá em vermelho com a respectiva mensagem de morte, bem como o dia de sua ocorrência e o DVS.

Figura 8 - Página de simulação do programa PhenoGlad mostrando os alertas relativos a injúrias devido a altas temperaturas.



Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

Em seguida, o usuário pode acessar os resultados da simulação, que são apresentados na forma gráfica e de tabela resumida. Nos resultados na forma gráfica, o usuário pode visualizar os dados meteorológicos de temperatura mínima, média e máxima utilizados no período da simulação (Figura 9). O usuário também tem acesso a um gráfico com a evolução dos estágios vegetativos e reprodutivos da cultura, onde é destacado o dia de ocorrência dos estágios R0, R1, R2 e R5 (Figura 10A). Se a simulação for realizada para multi-anos, tanto na aba de resultados na forma de tabela e gráficos (Figura 10B), o usuário pode acessar os resultados dos diferentes anos usados na simulação.

Há também a opção de o usuário visualizar os resultados na forma de tabela (Figura 11), na qual é mostrado a data de ocorrência (no formato dd/mm/aa e dia do ano) dos estágios vegetativos e reprodutivos da cultura. É também informado os dias após o plantio (se a simulação foi realizada a partir do plantio) ou os dias após a emergência (no caso de simulações a partir da emergência) de ocorrência dos estágios vegetativos e reprodutivos da cultura bem como o número de folhas dos estágios vegetativos. Na última coluna da tabela é

mostrado a definição de cada um dos estágios de desenvolvimento, de acordo com a escala fenológica da cultura proposta por Schwab et al. (2015a).

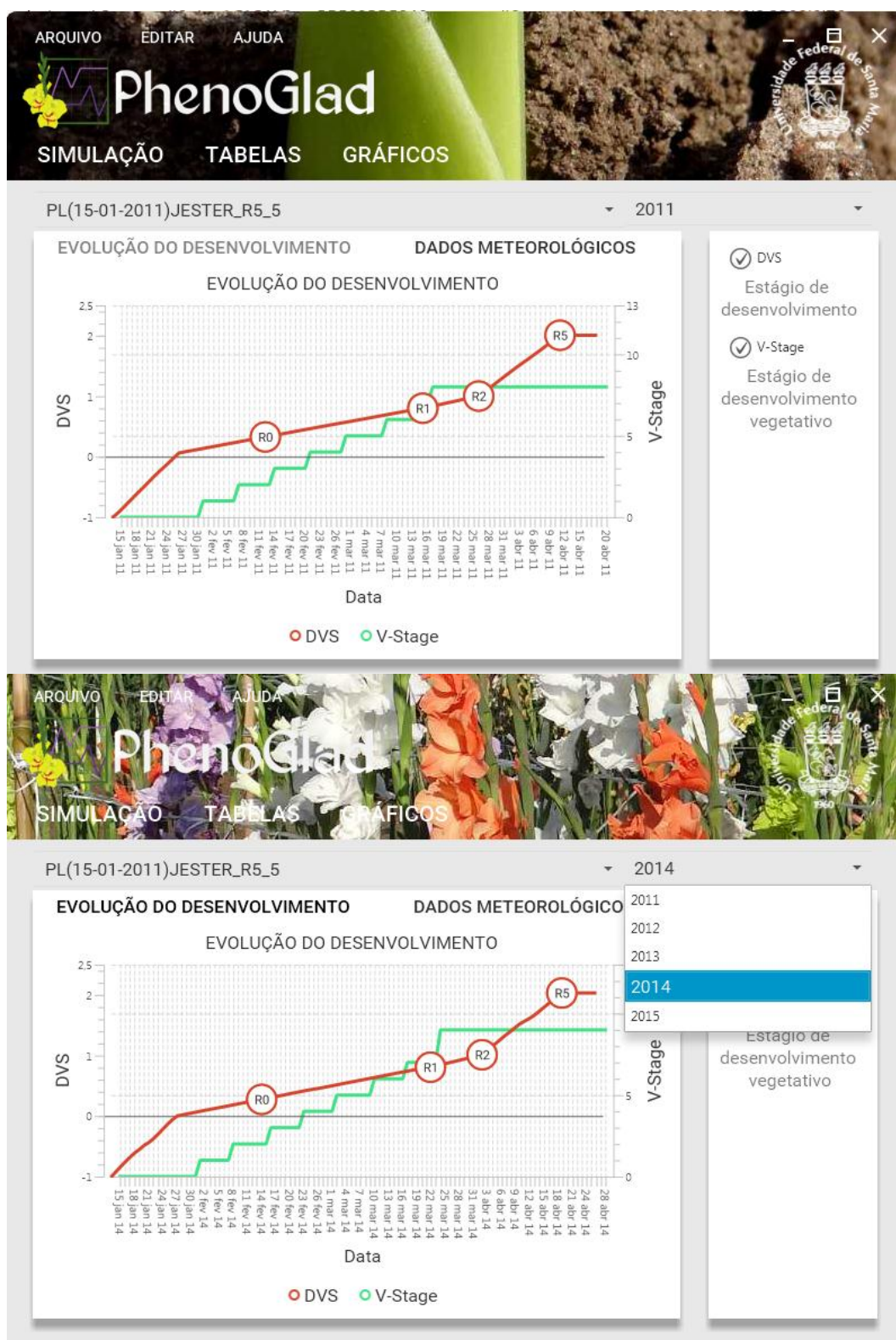
Para cada simulação realizada, o programa gera um arquivo *.txt* com o resultado detalhado da simulação. Para cada simulação é gerada uma pasta com as características da simulação e os arquivos *.txt* são armazenados dentro desta pasta que é gravada juntamente onde o programa foi salvo.

Figura 9 - Página de resultados do programa PhenoGlad mostrando a evolução dos dados meteorológicos do período de simulação.



Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

Figura 10 - Página de resultados do programa PhenoGlad mostrando a evolução dos dados meteorológicos do período de simulação.



Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

Figura 11 - Página de resultados do programa PhenoGlad mostrando uma tabela resumida dos resultados, com a data de ocorrência dos estágios vegetativos e estágios de desenvolvimento em gladiolo.



Estágio	Data	DiaDoAno	DAE/DAP	NF	Definição
VE	28 jan 11	28	13	0	Emergência
V1	31 jan 11	31	16	1	Primeira folha
V2	7 fev 11	38	23	2	Segunda folha
V3	14 fev 11	45	30	3	Terceira folha
R0	14 fev 11	45	30	3	Início do desenvolvimento da espiga floral no interior do cartucho
V4	21 fev 11	52	37	4	Quarta folha
V5	28 fev 11	59	44	5	Quinta folha
V6	8 mar 11	67	52	6	Sexta folha
VF	17 mar 11	76	61	8	Folha bandeira
R1.0	17 mar 11	76	61	8	Espigamento
R2	28 mar 11	87	72	8	Ponto de colheita comercial. Desenvolvimento dos botões florais.
R3	31 mar 11	90	75	8	Início da antese

Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

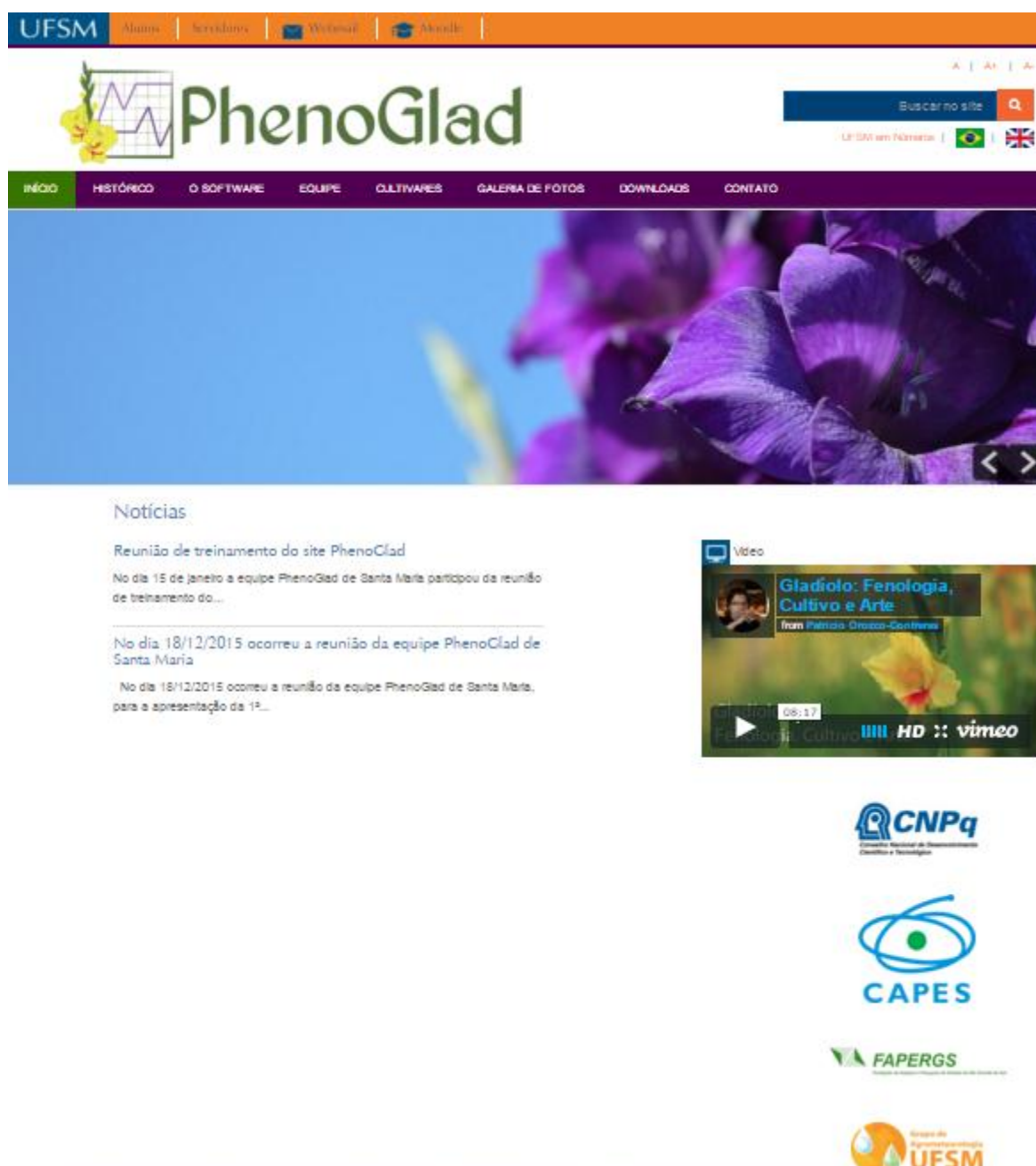
O programa PhenoGlad foi desenvolvido por professores e estudantes de graduação e pós-graduação da UFSM com a participação e colaboração da UNIPAMPA - campus Itaqui, UFSM - campus Frederico Westphalen e UFSC - campus Curitibanos e do Sr. Milton Cauzzo, produtor de gladiolo de Santa Maria.

O programa PhenoGlad deve ser utilizado em sistema operacional Windows. Deve ser instalada a máquina virtual Java (JVM), versão 1.8 ou superior, pois o programa desenvolvido em Java não pode ser executado sem a JVM.

Através do site oficial do PhenoGlad (www.ufsm.br/phenoglad) (Figuras 12 e 13) a versão 1.0 do aplicativo está disponível para download desde 05 de fevereiro de 2016. Juntamente com o programa, está disponível para download um tutorial do funcionamento do programa. Há também uma página Facebook do aplicativo (www.facebook.com/phenoglad)

(Figura 14), na qual são divulgadas notícias a respeito do desenvolvimento do software. Assim como o aplicativo, o site oficial do PhenoGlad está disponível em duas línguas, português e inglês (Figuras 12 e 13, respectivamente).

Figura 12 - Tela inicial do site oficial do PhenoGlad, versão em português, disponível em: www.ufsm.br/phenoglad.



Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

Figura 13 - Tela inicial do site oficial do PhenoGlad, versão em inglês, disponível em: www.ufsm.br/phenoglad.

UFSM | Alunos | Servidores | WhatsApp | Moodle

PhenoGlad

Buscar no site

UFSM em Português |

HOME | BACKGROUND | THE SOFTWARE | TEAM | CULTIVARS | GALLERY OF PHOTOS | DOWNLOADS | CONTACT US

News

Meeting of the PhenoGlad team took place on 18 Dec 2015
On 18 Dec 2015 a meeting of the PhenoGlad team took place in order to present a draft of the...

Meeting on 21 Jan 2016
The meeting of the PhenoGlad team on 21 Jan 2016 dealt with the upgrade of the work on the...

Video

Gladiolo: Fenologia, Cultivo e Arte
from Foz de Iguaçu

08:17 HD :: vimeo

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CAPES

FAPERGS

Fonte: www.ufsm.br/phenoglad. (2016).

Figura 14 - Tela inicial da página Facebook do programa PhenoGlad.



The image shows the Facebook interface for the PhenoGlad page. At the top, the search bar contains 'PhenoGlad' and the user profile is 'Lilian' on the 'Página inicial' (Home) tab. The cover photo displays several stalks of gladiolus flowers in white, yellow, and purple. The profile picture is a logo for PhenoGlad Software, featuring a line graph. Below the cover photo, navigation tabs include 'Linha do Tempo', 'Sobre', 'Fotos', 'Curtidas', and 'Vídeos'. The main content area shows a post from December 23, 2015, at 12:13, stating: 'No dia 23/12/2015 a equipe PhenoGlad, em reunião ordinária, trabalhou na documentação do código fonte e na redação do conteúdo das abas do site oficial do modelo.' The right sidebar contains a 'Criar Página' button, a 'Recentes' section for 2015, a 'Patrocinado' section with an advertisement for a smartphone, and a text-based advertisement for MercadoLivre.

Fonte: <https://www.facebook.com/PhenoGlad>

5. CONCLUSÃO

O modelo PhenoGlad é apropriado para simular a fenologia do gladiolo para diferentes cultivares, datas de plantio, anos e locais, incluindo experimentos irrigados e não irrigados. A performance do modelo foi superior quando as simulações iniciaram na data de emergência quando comparadas àquelas que foram realizadas a partir da data de plantio. O modelo PhenoGlad pode ser usado para aplicações práticas e os dados de entrada necessários para realizar uma simulação são a temperatura mínima e máxima diárias, a cultivar utilizada e a data de plantio ou emergência. Se a cultivar desejada não constar na lista, o usuário pode realizar a simulação optando pelo ciclo de desenvolvimento da cultivar ou os coeficientes genético-específicos podem ser estimados para cada estágio de desenvolvimento a partir da soma térmica, com pequena perda de acurácia da predição. O modelo PhenoGlad é também apropriado para prever os efeitos danosos de baixas e altas temperaturas nas espigas e simular a vida de vaso de hastes de gladiolo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, S. R., PEARSON, S., HADLEY, P. The Effects of Temperature, Photoperiod and Light Integral on the Time to Flowering of Pansy cv. Universal Violet (*Viola x wittrockiana* Gams.). **Annals of Botany**, United Kingdom, v. 80, n. 1, p. 107-112, jul. 1997.
- BARBOSA, J. G. et al. **Palma-de-Santa-Rita (Gladíolo):** Produção comercial de flores e bulbos. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. 113p.
- BLANCHARD, M. G; RUNKLE, E. S. Quantifying the thermal flowering rates of eighteen species of annual bedding plants. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 128, n. 1, p. 30-37, fev. 2011.
- 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**, Virgínia, v. 118, n. 1, p. 36-42, jan. 1993.
- BURG, S. P. **Postharvest physiology and hypobaric storage of fresh produce.** Florida: CABI Publishing; USA, 2004. 670p.
- 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**, United Kingdom, v. 111, n. 4, p. 629-639, abr. 2013.
- ERWIN, J. E.; HEINS, R. D. Temperature effects on lily development rate and morphology from the visible bulb stage until anthesis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Virgínia, v. 115, n. 4, p. 644-646, 1990.
- GARY, C.; JONES, J. W.; TCHAMITCHIAN, M. Crop modeling in horticulture: state of the art. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 74, n. 1-2, p. 3-20, abr. 1998.
- GREVING, A. J. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension: **G87-852 Growing Gladiolus**, University of Nebraska, 1987. 5 p.
- IBRAFLOR. Instituto Brasileiro de Floricultura. **Números do Setor: Mercado interno.** São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.ibraflor.com/ns_mer_interno.php>. Acesso em: 17 dez. 2015.
- JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, São Paulo, v. 14, p. 37-52, 2008.
- JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Balança do comércio exterior da floricultura brasileira. **Hórtica**, São Paulo, v. 1, p. 1-7, 2013.
- LAGO, I. et al. Impact of increasing mean air temperature on the development of rice and red rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1441-1448, nov. 2008.

LARSEN, R. U.; PEARSSON, L. Modelling flower development in greenhouse chrysanthemum cultivars in relation to temperature and response group. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 73-89, jan. 1999.

LENTZ, W. Model applications in horticulturae: a review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 74, n. 1-2, p. 151-174, abr. 1998.

LIM, T. K. *Gladiolus grandiflorus*. In: LIM, T. K. **Edible Medicinal and Non Medicinal Plants**. New York: Springer, 2014, p. 144-150.

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. 132p.

LIU, B.; HEINS, R. D. Photothermal ratio affects plant quality in 'Freedom' Poinsetia. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Virgínia, v. 127, n. 1, p. 20-26, jan. 2002.

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**, Virgínia, v. 132, n. 3, p. 283-288, mai. 2007.

NIU, G. et al. Temperature and daily light integral influence plant quality and flower development of *Campanula carpatica* 'Blue Clips', 'Deep Blue Clips' and *Campanula* 'Birch Hybrid'. **HortScience**, Virgínia, v. 36, n. 4, p. 664-668, jul. 2001.

NOWAK, J.; GOSZCZYNSKA, M. D.; RUDNICKI, R. M. et al. Storage of cut flowers and ornamental plants: present status and future prospects. **Postharvest News and Information**, v. 2, n. 4, p. 255-260, 1991.

PAIVA, P. D. de O. et al. Gladíolo. In: PAIVA, P. D. de O.; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. Lavras: UFLA, 2012. p. 448-470.

PRAMUK, L. A, RUNKLE, E. S. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Virgínia, v. 130, n. 6, p. 813-818, nov. 2005.

ROSA, Y. B. C. J. et al. Desenvolvimento de gládíolos em função da adubação nitrogenada e diâmetro do corno. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 87-92, 2014.

RUPPENTHAL, V.; CONDE e CASTRO, A. M. Efeito do composto de lixo urbano na nutrição e produção de Gladíolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 145-150, jan./fev. 2005.

SAMBORANHA, F. K. et al. Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 815-824, out.-dez. 2013.

SCHAYKEWICH, C. F. An appraisal of cereal crop phenology modeling. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 75, n. 2, p. 329-341, abr. 1995.

SCHWAB, N. T. et al. A phenological scale for the development of *Gladiolus*. **Annals of Applied Biology**, United Kingdom, v. 166, n. 3, p. 496-507, mai. 2015a.

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. 2015b.

SEVERINO, C. A. M. **Dossiê técnico: cultivo comercial de Palma de Santa Rita (*Gladiolus sp. Tourm.*)**. Rede de Tecnologia da Bahia – RETEC/BA, 2007, 22p.

SHILLO, R.; HALEVY, A. H. The effects of various environmental factors on flowering of gladiolus. III. Temperature and moisture, **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 4, n. 2, p. 147-155, dez. 1976a.

SHILLO, R.; HALEVY, A.H. The effects of various environmental factors on flowering of gladiolus. II. Length of the day, **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 4, n. 2, p. 139-146, dez. 1976b.

SHILLO, R.; HALEVY, A. H. Inflorescence development of flowering and blasted gladiolus plants in relation to development of other plant parts. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 4, n. 1, p. 79-86, fev. 1976c.

SHILLO, R.; HALEVY, A.H. The effects of various environmental factors on flowering of gladiolus. IV. Interaction of environmental factors – general discussion, **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 4, n. 2, p. 157-162, dez. 1976d.

SHILLO, R.; SIMCHON, S. Effect of water content and storage temperature of gladiolus corms on flowering. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 57-62, jan. 1973.

STEININGER, J.; PASIAN, C. C.; LIETH, J. H. Extension of a thermal unit model to represent nonlinearities in temperature response on miniature rose development. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Virgínia, v. 127, n. 3, p. 349-354, mai. 2002.

STRECK, N. A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 105-111, dez. 2002a.

STRECK, N. A. A temperature response function for modelling leaf growth and development of the African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2002b.

STRECK, N. A. A generalized nonlinear temperature response function for some growth and developmental parameters in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 255-262, abr. 2003.

STRECK, N. A. et al. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 115, n. 3-4, p. 139-150, 2003a.

STRECK, N. A. et al. Incorporating a chronology response function into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. **Annals of Botany**, United Kingdom, v. 92, n. 2, p. 181-190, ago. 2003b.

STRECK, N. A. et al. Simulation the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.142, n. 1, p.1-11, jan. 2007.

STRECK, N. A. et al. Modelagem da emissão de folhas em arroz cultivado e em arroz vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 559-567, mai. 2008a.

STRECK, N. A. et al. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a nonlinear model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 449-455, abr. 2008b.

STRECK, N. A. et al. Simulating leaf appearance in a maize variety. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 384-393, mai./jun. 2010.

STRECK, N. A. et al. Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em gladiolo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1968-1974, nov. 2012.

STRECK, N. A. et al. SimulArroz: um aplicativo para estimar a produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DO ARROZ IRRIGADO, 12 a 15 de agosto de 2013, Santa Maria/RS. **Anais...** Santa Maria/RS: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2013 p. 1618-1627.

TOMBOLATO, A. F. C.; CASTRO, J. L.; MATTHES, L. A. F. Brazilian breeding program on *Gladiolus* spp. – History and first results. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 570, p. 219-224, 2002.

TOMBOLATO, A. F. C. **Cultivo comercial de plantas ornamentais**. 1 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2004. 211 p.

TOMBOLATO, A. F. C. et al. Melhoramento genético do gladiolo no IAC: novas cultivares “IAC Carmim” e “IAC Paranapanema”. **Científica**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 142-147, 2005.

TOMBOLATO, A. F. C. et al. Bulbosas ornamentais no Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 127-138, 2010.

TORRES, D. F. U. **Análise prospectiva para o mercado de flores e plantas ornamentais no Brasil e suas tecnologias da informação e comunicação**. 2015. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronegócios)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

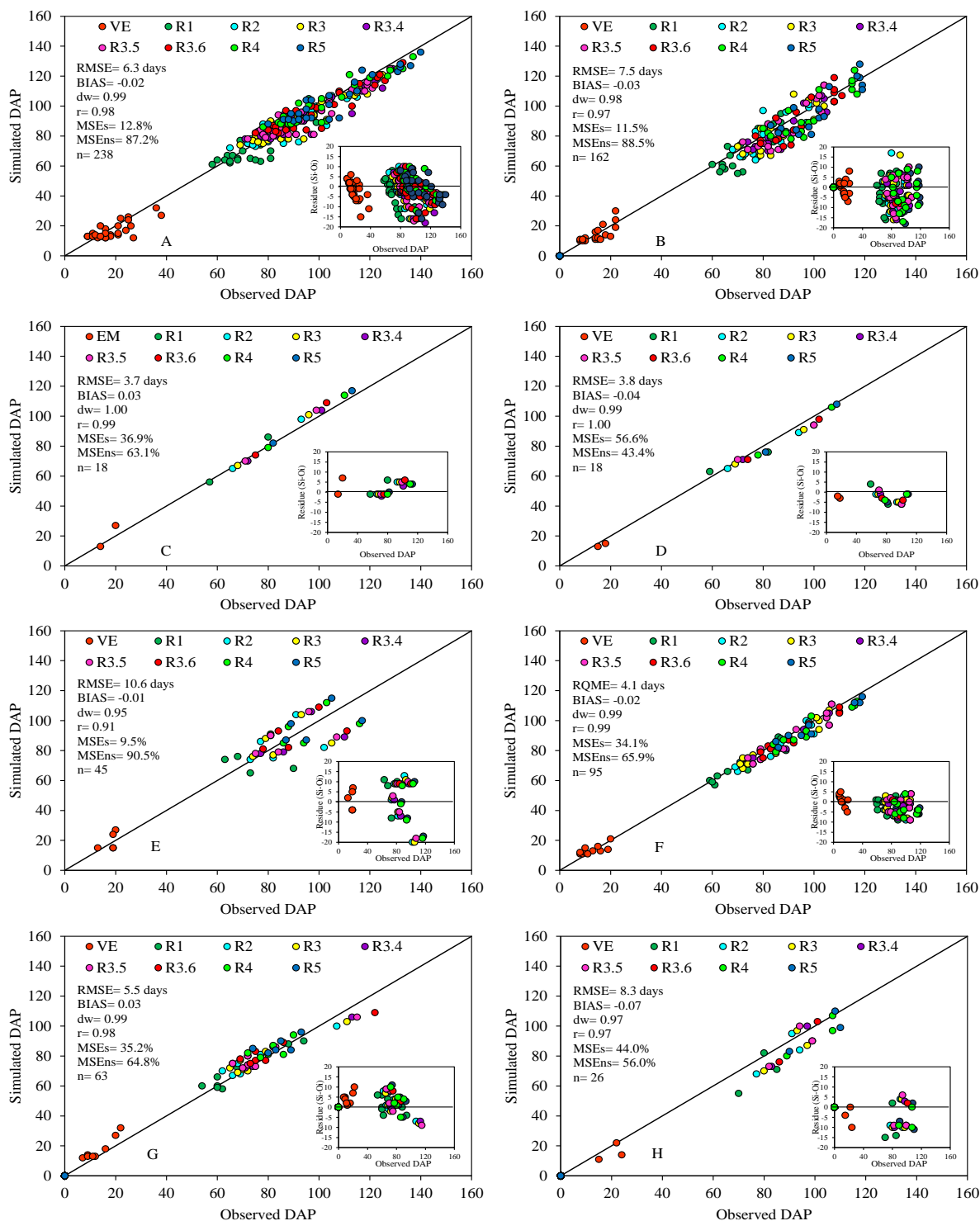
TRINKLEIN, D. G6620 Summer Flowering Bulbs: Gladiolus. **Horticultural MU Guide: University of Missouri**. 2005. 4 p. Disponível em: <<http://extension.missouri.edu/p/g6620>>. Acesso em: 15 dez. de 2015.

VEILLING HOLAMBRA. Cooperativa Veilling Holambra. **Cr terios de classifica o:** Gladi lo corte. S o Paulo: Departamento de Qualidade e P s-Colheita, 2013.

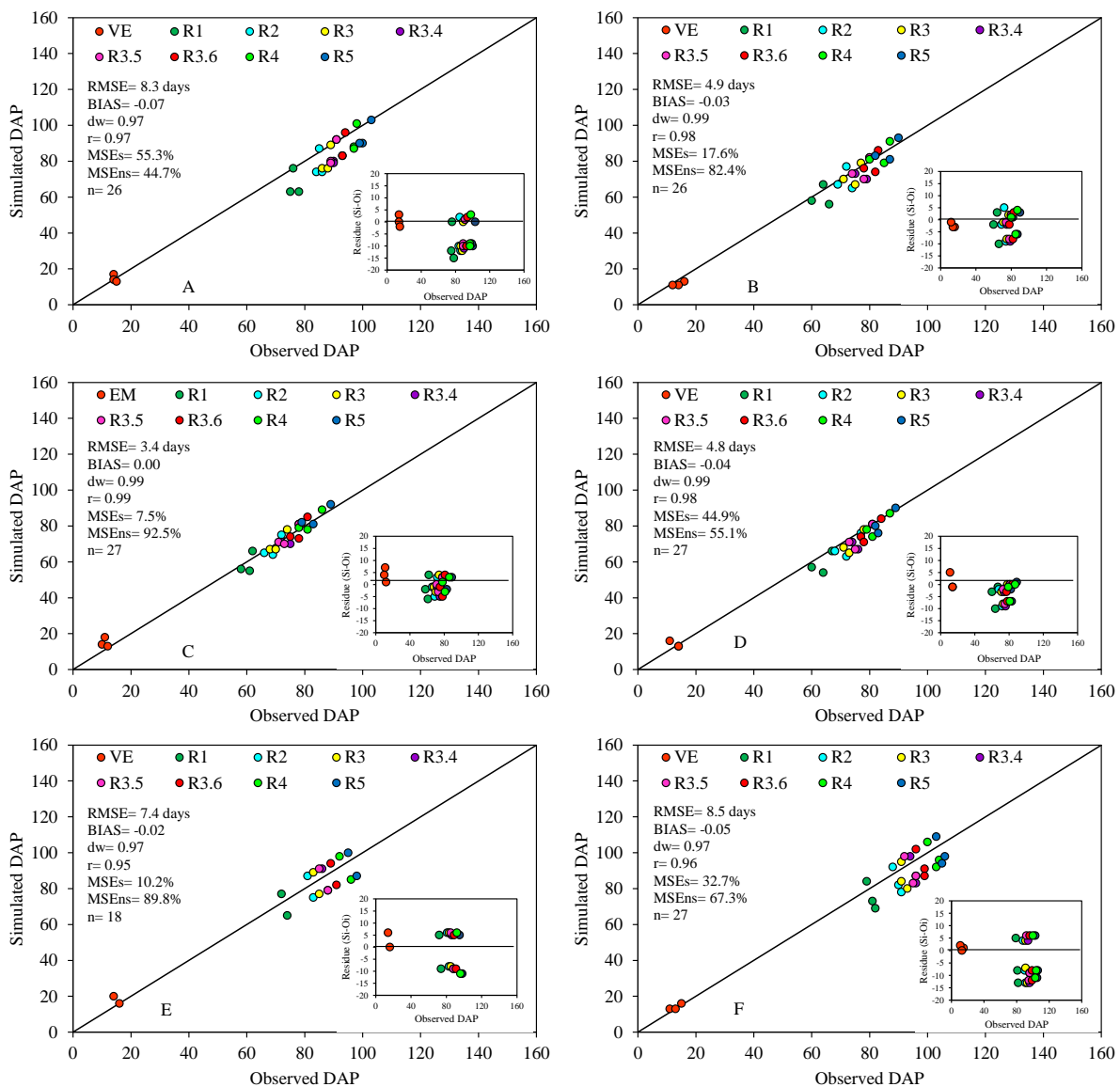
WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, London, v. 58, n. 1, p. 1-24, set. 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A – The simulated versus observed days after planting (DAP) of emergence (VE), heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in eight cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Amsterdam , G= Peter Pears and H= T704) with the WE model in Santa Maria, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.



APÊNDICE B – The simulated versus observed days after planting (DAP) of (VE), heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in six cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Gold Field) with the WE model in Itaquí, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.



APÊNDICE C – The simulated versus observed days after planting (DAP) of (VE), heading (R1), blooming (R2), onset of anthesis (R3), half of anthesis (R3.4), beginning floret senescence (R3.5), half of florets senesced (R3.6), anthesis completed (R4) and end of floret senescence (R5) in six cultivars of gladiolus (A= Jester, B= Rose Friendship, C= White Friendship, D= Purple Flora, E= Green Star, F= Gold Field) with the WE model in Frederico Westphalen, RS, Brazil. Data of all planting dates are pooled. The solid line is the 1:1 line. Insets are the residues. RMSE = root mean square error, BIAS= BIAS index, dw= index of agreement, r= correlation coefficient, MSEs= systematic means square error, MSEu= unsystematic mean square error, n= number of observations.

