

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

**MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO E
PRODUTIVIDADE DE BATATA-DOCE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Lígia Erpen

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE
BATATA-DOCE**

Lígia Erpen

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**

Orientador: Prof. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

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

Erpen, Lígia
Modelagem do desenvolvimento e produtividade de
batata-doce / Lígia Erpen.-2013.
68 p.; 30cm

Orientador: Nereu Augusto Streck
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2013

1. Agronomia 2. Ipomoea batatas 3. Modelagem 4.
Desenvolvimento 5. Produtividade I. Streck, Nereu
Augusto II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Lígia Erpen. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Arno Presser, 227 Bairro Progresso, Tapera, RS. CEP: 99490-000

E-mail: ligia_erpen@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE
BATATA-DOCE**

Elaborada por
Lígia Erpen

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

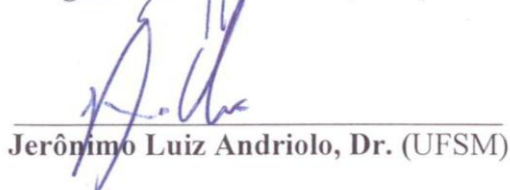
COMISSÃO EXAMINADORA:



Nereu Augusto Streck, PhD.
(Presidente/Orientador)



Edgar Ricardo Schöffel, Dr. (UFPEL)



Jerônimo Luiz Andriolo, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 16 de janeiro de 2013.

Dedico com muito carinho e gratidão
a toda minha família, especialmente
meus pais Marlene e Sergio
e meus irmãos Marcos, Natália e Vitor

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do curso e aperfeiçoamento profissional.

À CAPES, pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor Nereu Augusto Streck pela oportunidade, orientação, ensinamentos e confiança durante o mestrado.

Ao professor Jerônimo Luiz Andriolo, pela orientação, convivência e ensinamentos durante a graduação.

Aos meus pais Sergio e Marlene, que sempre foram meus exemplos de vida e aos meus irmãos Marcos, Natália e Vitor agradeço pelo amor, compreensão e apoio incondicional.

À minha madrinha Maria pelo apoio em todos os momentos.

Ao meu querido Gerson pelo amor e companheirismo nos últimos anos.

As minhas amigas Daniele, Michele, Glaucia e Bruna com as quais tive o prazer de conviver.

Agradecimento especial aos colegas Lilian, Josana, Eduardo e Charles pela valiosa ajuda na realização do trabalho.

Aos colegas do Grupo de Agrometeorologia pela amizade e contribuição ao trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, especialmente ao João Colpo, pelo auxílio nos trabalhos a campo

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia e do Curso de Agronomia pelos inúmeros ensinamentos.

Aos membros da banca avaliadora pela disponibilidade, sugestões e contribuições para melhoria do trabalho.

A todos aqueles não listados e que de alguma maneira contribuíram para a realização do trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE BATATA-DOCE

AUTOR: Lígia Erpen
ORIENTADOR: Nereu Augusto Streck
Local e data da defesa: Santa Maria, 16 de janeiro de 2013.

Os objetivos desta dissertação foram determinar as temperaturas cardinais da batata-doce e comparar a simulação da emissão de nós com o modelo do plastocrono (linear) e com o modelo de Wang e Engel (não linear) e a melhor forma de entrada da temperatura do ar nos modelos e avaliar o efeito de diferentes datas de plantio no início de tuberização e produtividade de raízes tuberosas de batata-doce em ambiente subtropical. A calibração e o teste dos modelos foram feitos através de dados de número de nós na haste principal de plantas de batata-doce, coletados em sete datas de plantio nos anos 2010, 2011 e 2012. O início de tuberização e a produtividade foram avaliados em um experimento com quatro datas de plantio em 2011 e 2012. Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, Santa Maria, RS, com a cultivar Princesa na densidade de plantio de 25.000 plantas ha⁻¹. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com quatro repetições. Melhor predição dos modelos foi obtida com o uso das temperaturas cardinais 12 °C, 30 °C e 40 °C. A versão da temperatura média diária do ar foi superior a temperatura mínima e máxima diária do ar em ambos os modelos. Os modelos plastocrono e Wang e Engel apresentaram desempenho semelhante, com a RQME variando de 2,1 a 2,2 nós respectivamente. Os dois modelos podem ser utilizados para simular o desenvolvimento vegetativo da batata-doce quando cultivada na época recomendada. Fora desse período sugere-se usar o modelo de Wang e Engel. As condições de temperatura e fotoperíodo modificaram o início de tuberização em cada data de plantio, indicando que fotoperíodos curtos aceleram sua ocorrência. A produtividade de raízes tuberosas foi maior quando o plantio foi realizado no final do inverno, em decorrência da maior duração da fase de acumulação de amido, que coincidiu com os períodos de alta radiação solar incidente e temperaturas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da batata-doce.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas*. Fenologia. Modelagem. Datas de plantio.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

MODELING THE DEVELOPMENT AND YIELD OF SWEET POTATO

AUTHOR: Lígia Erpen
ADVISOR: Nereu Augusto Streck
Local and date of the presentation: Santa Maria, January 16th, 2013.

The objectives of this dissertation were to determine the cardinal temperatures of sweet potato and compare the simulation of node appearance with the plastochron model (linear) and with Wang and Engel model (nonlinear) and the best way input air temperature in the models and to assess the effect of planting dates on tuber initiation and storage root yield of sweet potato in a subtropical environment. Models calibration and the test were with data of number of nodes on the main stem of sweet potato plants, collected at seven planting dates in 2010, 2011 and 2012 growing seasons. The tuber initiation and storage root yield were assessed in an experiment with four planting dates in 2011 and 2012 growing seasons. The experiments were conducted in the experimental area of the Department of Plant Science, UFSM, Santa Maria, RS, with cultivar Princesa at planting density of de 25.000 plants ha⁻¹. The experiment was a complete randomized block design with four replications. The version with mean temperature was superior to the version with the minimum and maximum temperature as input in both models. The plastochron and Wang and Engel models showed similar performance, with RMSE ranging from 2.1 to 2.2 nodes respectively. Both models can be used to simulate the development of sweet potatoes when it is cultivated in the recommended period. Outside this period is suggested to use the model of Wang and Engel. The conditions of temperature and photoperiod modified the tuber initiation in each planting date, indicating that short photoperiods accelerate its occurrence. The storage root yield was higher when planting was done in late winter due to the longer duration of tuber bulking which coincided with periods of high solar radiation and temperatures favorable to the growth and development of sweet potato.

Keywords: *Ipomoea batatas*. Phenology. Modeling. Planting dates.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1 - Representação gráfica da resposta da emissão de nós à temperatura do ar no modelo do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Wengel (WE) com as temperaturas cardinais de 12, 30 e 40 °C. STd é a soma térmica diária (°C dia) e f(T) é a função de resposta à temperatura.....25
- Figura 2 - Número de nós (NN) observados versus simulados na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes, pelos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Wengel (WE) em duas versões de temperatura do ar (Tmed: A e B; Tmm: C e D). A linha cheia é a linha 1:1. O resíduo (NN simulados menos NN observados) versus o NN observados é apresentado nas inserções, com envelope de ± 2 nós31
- Figura 3 - Temperaturas máxima (TX), média (TM) e mínima (TN) diária do ar durante o período experimental nos anos de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B). As setas indicam as datas de plantio (Épocas 1 a 7).....33

ARTIGO II

- Figura 1 - Temperaturas mínimas (TN) e máximas (TX) diárias do ar (A), temperatura média diária do ar (TM) e fotoperíodo (B) e densidade de fluxo de radiação solar global incidente (C) durante o período de cultivo da batata-doce com quatro datas de plantio (25/08/2011, 21/11/2011, 03/01/2012 e 13/02/2012), indicadas pelas setas. Santa Maria, UFSM, 2012.....44
- Figura 2 - Duração da fase plantio-início da tuberização (PL-IT) e início da tuberização-colheita (IT-CO) em dias (A) e em °C dia (B) nas quatro datas de plantio de batata-doce, cultivar Princesa. Santa Maria, UFSM, 2012.....46
- Figura 3 - Relação entre a duração da fase PL-IT em °C dia e o número de nós da haste principal no início de tuberização com o fotoperíodo médio do período nas quatro datas de plantio de batata-doce, cultivar Princesa. Santa Maria, UFSM, 2012.....47
- Figura 4 - Produtividade de raízes tuberosas comerciais em massa fresca (MF) e massa seca (MS) em função da data de plantio (dias após 15/08/2011) para batata-doce, cultivar Princesa. Santa Maria, UFSM, 2012.51

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

- Tabela 1 - Média mensal da temperatura mínima (TN) e máxima (TX) do ar e radiação solar global incidente durante o período experimental nos anos 2010, 2011 e 2012.....28
- Tabela 2 - Valores dos coeficientes PLAST ($^{\circ}\text{C dia n}^{\circ -1}$) e TANmáx ($\text{n}^{\circ}\text{s dia}^{-1}$) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais, em duas versões (Tmed e Tmm) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE).....29
- Tabela 3 - Valores das estatísticas raiz do quadrado médio do erro (RQME), erro sistemático (QMEs), erro não sistemático (QMEns), índice BIAS, índice de concordância (dw) e coeficiente de correlação (r) utilizadas na avaliação de duas versões (Tmed e Tmm) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Wengel (WE) na simulação da emissão de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa.....30
- Tabela 4 - Raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação da emissão de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, com os modelos plastocrono (PLASTO) e Wang e Wengel (WE) em duas versões (Tmed e Tmm) em cada época de plantio usada como dado independente32

ARTIGO II

- Tabela 1 - Produtividade comercial, não-comercial e total (comercial + não-comercial) de raízes tuberosas em massa fresca (MF) e massa seca (MS) e massa seca de parte aérea (MSPA) de batata-doce, cultivar Princesa, em quatro datas de plantio. Santa Maria, UFSM, 2012.....48
- Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres produtividade de raízes tuberosas em massa fresca (MF) e massa seca (MS) com a duração, em $^{\circ}\text{C dia}$, das fases plantio - início de tuberização (PL-IT) e início de tuberização - colheita (IT-CO), radiação solar global incidente (RS) durante o IT-CO, número de nós na haste principal no início de tuberização (NN IT) e massa seca parte aérea (MSPA), de batata-doce, cultivar Princesa. Santa Maria, UFSM, 2012.48

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A- Evolução do número de nós observados (círculo vazado) e simulados pelos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE) com as temperaturas 12°C, 30°C e 40°C, na versão T_{med} (linha contínua) e T_{mm} (linha pontilhada) na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio 1 (A,B), 3 (C, D), 4(E, F), 5(G, H), 6(I, J) e 7 (K, L). Santa Maria, 2012. 64
- Anexo B- Valores dos coeficientes PLAST (°C dia nó⁻¹) e TAN_{máx} (nós dia⁻¹) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais (T_b de 10, 11, 12, 13, 14 e 15°C, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32°C e T_B de 41°C) em duas versões (T_{med} e T_{mm}) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE). Santa Maria, 2012..... 65
- Anexo C- Valores dos coeficientes PLAST (°C dia nó⁻¹) e TAN_{máx} (nós dia⁻¹) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais (T_b de 10, 11, 12, 13, 14 e 15°C, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32°C e T_B de 42°C) em duas versões (T_{med} e T_{mm}) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE). Santa Maria, 2012..... 66
- Anexo D- Valores dos coeficientes PLAST (°C dia nó⁻¹) e TAN_{máx} (nós dia⁻¹) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais (T_b de 10, 11, 12, 13, 14 e 15°C, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32°C e T_B de 43°C) em duas versões (T_{med} e T_{mm}) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE). Santa Maria, 2012..... 67
- Anexo E- Valores dos coeficientes PLAST (°C dia nó⁻¹) e TAN_{máx} (nós dia⁻¹) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais (T_b de 10, 11, 12, 13, 14 e 15°C, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32°C e T_B de 44°C) em duas versões (T_{med} e T_{mm}) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE). Santa Maria, 2012..... 68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Panorama agroeconômico da batata-doce	14
2.2. Origem, botânica e morfologia da batata-doce.....	15
2.3. Ecofisiologia da batata-doce	16
2.4. Simulação do desenvolvimento vegetal: modelos lineares e não lineares.....	18
2.5.Época de plantio e colheita da batata-doce	19
3 ARTIGO I – Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce.....	21
INTRODUÇÃO	22
MATERIAL E MÉTODOS	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS	34
4 ARTIGO I I – Tuberização e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em ambiente subtropical	37
INTRODUÇÃO	38
MATERIAL E MÉTODOS	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS	52
5 DISCUSSÃO	56
6 CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	64

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce é uma planta nativa da América Central e atualmente constitui uma das principais culturas tuberosas produzidas em regiões tropicais e subtropicais de todo o mundo (SRISUWAN et al., 2006). O baixo custo de produção, a rusticidade do cultivo, o alto potencial produtivo e o valor alimentício da batata-doce são fatores relevantes na escolha do seu cultivo. Sua utilização é destinada principalmente para a alimentação humana e animal e como matéria-prima na indústria de alimento (CASTRO, 2010), apresentando também grande potencial para a produção de etanol (CASTRO et al., 2008)

O crescimento e o desenvolvimento da batata-doce dependem de vários fatores ambientais, entre eles a temperatura do ar, fotoperíodo e radiação solar (SOMASUNDARAM; MITHRA, 2008). A caracterização desses processos pode ser feita através de modelos matemáticos, que permitem estabelecer relações entre a planta e o ambiente (STRECK et al., 2007). Com isso é possível descrever o impacto de eventuais fenômenos adversos, indicar calendários de plantio e práticas de manejo quando o cultivo é realizado em diferentes anos, épocas ou locais.

O desenvolvimento vegetativo é representado pela taxa de aparecimento de nós, a qual é governada pela temperatura do ar em função das temperaturas cardinais da espécie (basal inferior, ótima e basal superior) (YAN; HUNT, 1999). O cálculo da taxa de aparecimento de nós é um importante componente em modelos de simulação de culturas agrícolas, pois afeta a evolução do índice de área foliar da planta e esta associado ao momento de ocorrência de diferentes estádios de desenvolvimento (SINCLAIR et al., 2004). A sua representação pode ser feita por modelos lineares, como os que usam o conceito da soma térmica e por modelos não lineares, como o modelo de Wang e Engel (STRECK et al., 2008).

A produção de raízes tuberosas da batata-doce está vinculada ao acúmulo de reservas nas raízes da planta. A interação de diferentes fatores ambientais, como temperatura, fotoperíodo e radiação solar determinam o início de tuberização e a taxa de acúmulo de biomassa nas raízes (MEDEIROS et al., 1990; CONCEIÇÃO et al., 2004; VILLAVICENCIO et al., 2007). Além desses fatores, a produtividade também depende da duração da fase de enchimento das raízes, visto que a batata-doce é uma planta perene de tuberização contínua sob condições favoráveis (FILGUEIRA, 2000).

No Rio Grande do Sul, a limitação por baixas temperaturas e ocorrência de geadas impedem o cultivo da batata-doce durante o inverno. Dessa forma, o cultivo pode ser realizado a partir do final do inverno e estender-se até o outono. Dentro desse período é importante saber quais são as datas de plantio que possibilitam alcançar maiores produtividades.

Esta dissertação está dividida em dois capítulos, tendo como objetivos:

1. Determinar as temperaturas cardinais da batata-doce e comparar a simulação da emissão de nós com o modelo do plastocrono (linear) e com o modelo de Wang e Engel (não linear) e a melhor forma de entrada da temperatura do ar nos modelos
2. Avaliar o efeito de diferentes datas de plantio no início de tuberização e produtividade de raízes tuberosas de uma variedade de batata-doce em ambiente subtropical.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama agroeconômico da batata-doce

A batata doce (*Ipomoea batatas*) é uma das principais culturas tuberosas produzidas em todo o mundo e se classifica como a quinta cultura mais importante em países em desenvolvimento depois do arroz, trigo, milho e mandioca (LOEBENSTEIN; THOTTAPPILY, 2009). A produção mundial em 2010 foi de aproximadamente 106 milhões de toneladas em uma área de 8 milhões de hectares, sendo que a China se destaca como maior produtor com 80% do total produzido (FAOSAT, 2012).

A produção brasileira em 2010 foi 495 mil toneladas, produzidas em uma área de 42 mil ha. A região Sul foi responsável por 44% da produção, seguida pela Região Nordeste com 36% e Sudeste com 18% do total produzido (IBGE, 2012). O Estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor de batata-doce com participação de 31% na produção brasileira, seguido pelos estados de Paraíba e Alagoas. Em 2010 a produção foi de 154 mil toneladas em uma área de 12.600 ha com produtividade média de 12,2 t ha⁻¹ (IBGE, 2012).

É uma cultura de grande importância econômico-social cultivada por pequenos produtores rurais por se tratar de uma cultura rústica e de fácil cultivo. Apresenta custo de produção relativamente baixo principalmente pela baixa incidência de pragas e doenças e baixa exigência em fertilidade, obtendo rendimentos satisfatórios com reduzida entrada de insumos e em áreas com baixa fertilidade natural (SILVA et al., 2004). É também uma das hortaliças com maior capacidade de produzir energia por unidade de área e tempo (kcal/ha/dia) (MIRANDA et al., 1989).

A batata-doce apresenta alto potencial energético contendo teores de carboidratos variando entre 25% a 30%, sendo amido o principal componente (CARDOSO et al., 2007). Também constitui uma importante fonte de vitaminas e sais minerais, principalmente os genótipos com polpa de cor alaranjada que apresentam altos teores de betacaroteno, precursor da vitamina A (NUNES et al., 2009). Dessa forma constitui uma importante fonte de nutrientes e energia para a alimentação humana podendo também ser utilizada na alimentação animal com o uso de resíduos da parte aérea da planta e descartes de raízes (CASTRO, 2010). Além disso, possui elevado potencial para produção industrial de ração animal e farinha

(ANDRADE et al., 2009) e como alternativa para a produção de etanol biocombustível (CASTRO et al., 2008).

2.2 Origem, botânica e morfologia da batata-doce

A batata-doce é originária da América Central na região compreendida entre a Península de Yucatam, no México, até a Colômbia. Foi levada para a Europa pelos portugueses e espanhóis, difundindo-se, posteriormente, para os demais continentes onde é cultivada entre as latitudes de 42°N e 35°S e altitude de até 3000 m acima do nível do mar (SRISUWAN et al., 2006).

É uma planta dicotiledônea caracterizada por possuir dois tipos de raízes: a tuberosa, que constitui a principal parte de interesse comercial, e a raiz absorvente, responsável pela absorção de água e extração de nutrientes do solo (ECHER et al., 2009). O sistema radicular absorvente é profundo (75 a 90 cm) e ramificado, o que lhe possibilita explorar maior volume de solo e absorver água em camadas mais profundas do que a maioria das hortaliças (SILVA, et al., 2004). As raízes tuberosas, também denominadas de batatas, são identificadas pela maior espessura devido à acumulação de substâncias de reserva, variando em forma, tamanho e coloração. Tanto a casca quanto a polpa podem apresentar coloração variável de roxo, salmão, amarelo, creme ou branco, variando de acordo com a cultivar (LOEBENSTEIN; THOTTAPPILY, 2009).

A parte aérea da planta de batata-doce é constituída por caules herbáceos, também chamados de hastes, com hábito de crescimento prostrado, que se fixam na superfície do solo pela emissão de raízes adventícias em seu nós. Além da haste principal, outras hastes surgem no decorrer do desenvolvimento da planta. As hastes podem atingir até três metros de comprimento e possuem folhas largas com pecíolos longos que estão associadas aos nós. A parte aérea da batata-doce forma uma vegetação agressiva e boa cobertura do solo que compete vantajosamente com plantas invasoras (FILGUEIRA, 2000). As flores são hermafroditas e de fecundação cruzada. O fruto é do tipo cápsula deiscente com duas a quatro sementes (EDMOND; AMMERMAN, 1971).

A batata-doce pode reproduzir-se tanto assexuadamente como sexuadamente. Geralmente os programas de melhoramento usam a reprodução sexuada para obter variabilidade genética. Em cultivos comerciais, utiliza-se a propagação vegetativa através de

ramas (hastes) de 30 a 50 cm de comprimento. Em casos excepcionais as raízes tuberosas são empregadas diretamente no plantio ou em sementeiras, de onde são retiradas mudas de 20 a 30 cm de comprimento (SILVA et al., 1991).

2.3 Ecofisiologia da batata-doce

A batata-doce é uma planta perene, porém cultivada como anual. Seu ciclo de desenvolvimento inclui uma etapa vegetativa, na qual as substâncias fotossintetizadas pela parte aérea são translocadas para as raízes tuberosas e uma etapa reprodutiva em que ocorre o florescimento e produção de sementes (FILGUEIRA, 2000). A etapa reprodutiva é de interesse apenas em programas de melhoramento e só ocorre em regiões em que o fotoperíodo é igual ou inferior a 11 horas (ONWUEME; CHARLES, 1994). A etapa vegetativa ocorre em três distintas fases. Uma fase inicial em que ocorre crescimento extensivo das raízes adventícias e moderado desenvolvimento da parte aérea. Uma fase intermediária em que ocorre grande incremento em área foliar acompanhado pelo início de tuberização das raízes. A fase final caracteriza-se pelo acúmulo de fotoassimilados nas raízes tuberosas e a área foliar tende a estabilizar-se e decrescer (ONWUEME; CHARLES, 1994; QUEIROGA et al., 2007).

A duração dessas três fases pode variar com a cultivar e com as condições ambientais de cultivo. O aparecimento de raízes adventícias pode começar aos três dias após o plantio (VILLORDON et al., 2009a) e 85% delas tem o potencial para se tornar raízes tuberosas após a primeira semana de plantio (VILLORDON et al., 2009b). O início de tuberização geralmente ocorre de 4 a 7 semanas após o plantio (ONWUEME; CHARLES, 1994).

A temperatura do ar é um dos principais fatores que afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas (YAN; HUNT, 1999). A batata-doce é uma planta de clima quente, exigente em temperatura elevadas e intolerante ao frio. Noh et al. (2009) relata que o desenvolvimento de plantas de batata-doce foi severamente prejudicado na temperatura de 12°C, com redução drástica na taxa de aparecimento de folhas, taxa de crescimento foliar e tamanho de raízes adventícias. A elevação da temperatura a níveis muito altos também pode causar prejuízos, que se relacionam principalmente com a redução da taxa fotossintética. Por se tratar de uma espécie com metabolismo C₃, enzimas da fotossíntese (Rubisco) assim como o transporte de elétrons são sensíveis a altas temperaturas. Assim, a taxa fotossintética aumenta entre 20°C e 34°C, mas começa a decrescer em temperaturas acima deste intervalo

(CEN; SAGE, 2005). O crescimento vegetativo se mantém em temperaturas de até 40 °C, no entanto sob essas temperaturas não ocorre o crescimento das raízes tuberosas (AMTHOR, 2003; RAVI et al., 2009).

A temperatura ótima situa-se entre 25°C a 30° (NOH et al., 2009). Para um bom desenvolvimento vegetativo a planta exige temperatura média superior a 25°C enquanto temperaturas mais amenas, principalmente as noturnas, favorecem o crescimento de raízes tuberosas (RAVI et al., 2009; SILVA; LOPES, 1995;). Villavicencio et al. (2007), trabalhando em condições ambientais controladas verificou que a massa seca de parte aérea de plantas de batata-doce foi maior em temperatura de 34°C-dia e 31°C-noite do que em temperaturas de 20°C-dia e 17°C-noite. No entanto, as maiores produções foram obtidas de plantas que cresceram a uma temperatura intermediária de 27°C-dia e 24°C-noite. As temperaturas mais elevadas favoreceram o crescimento vegetativo e atrasaram o início de tuberização e translocação de carboidratos para as raízes resultando em menor produção. Resultados semelhantes apresentados por Kim (1961) mostram um aumento em número e tamanho de raízes tuberosas em plantas cultivadas em temperaturas noturnas de 20°C e diurnas de 29°C em comparação com temperatura constante de 29°C, que promoveu maior desenvolvimento da parte aérea. O aumento no crescimento de raízes tuberosas com a redução da temperatura noturna é atribuído ao aumento na taxa de translocação de carboidratos da parte aérea para as raízes (SOMASANDURAN; MITHRA, 2008).

A batata-doce também tem seu desenvolvimento afetado pelo fotoperíodo. Alguns autores afirmam que dias curtos favorecem o crescimento das raízes e promovem o florescimento (ONWUEME; CHARLES, 1994; SILVA; LOPES, 1995). McDavid e Alamu (1980) verificaram que o aumento do fotoperíodo de 8 horas (dia curto) para 18 horas (dia longo) inibiu o florescimento e provocou maior crescimento da parte aérea de plantas de batata-doce pelo aumento da área foliar, comprimento das hastes e atraso na senescência. Paralelamente houve redução da produção de raízes tuberosas que foi maior em plantas expostas a um fotoperíodo intermediário de 11,5 a 12,5 horas. Porter (1979) obteve maior produção de raízes tuberosas com fotoperíodo de 14 horas que com 8 horas. Carvalho (2010) mostra que folhas de plantas de batata-doce que cresceram sob um fotoperíodo de dia longo (16h luz/ 8h escuro) foram ligeiramente maiores que folhas que cresceram sob fotoperíodo de dias curtos (8 h luz/16 h escuro). Essas afirmações não coincidem com o exposto por Mortley et al. (2009), segundo o qual fotoperíodo longo (18 horas) promoveu maior produtividade de raízes tuberosas que fotoperíodos curto (9 horas).

A abordagem dos efeitos do ambiente sobre o desenvolvimento não pode desconsiderar a ação conjunta da temperatura e do fotoperíodo. Loretan et al. (1994) estudando o efeito de fatores ambientais em duas cultivares de batata-doce mostra que para um fotoperíodo de 24h e temperatura constante de 28°C não houve formação de raízes tuberosas para ambas as cultivares. Entretanto para o mesmo fotoperíodo e uma redução na temperatura noturna (28°C diurna e 22°C noturna) levou a formação de raízes tuberosas em uma das cultivares. O fotoperíodo de 12h promoveu tuberização nas duas cultivares, sendo que a produtividade foi maior com a variação de temperatura (28°C diurna e 22°C noturna) que em temperatura constante de 28°C.

2.4 Simulação do desenvolvimento vegetal: modelos lineares e não lineares

Modelos matemáticos podem ser utilizados para caracterizar o crescimento e o desenvolvimento das culturas agrícolas (STRECK et al., 2007). Crescimento e desenvolvimento vegetal são processos independentes e relacionados que normalmente ocorrem simultaneamente. Crescimento caracteriza-se pelo aumento de dimensões físicas do vegetal especialmente em massa seca, comprimento, volume ou área. O desenvolvimento refere-se a eventos que incluem desde diferenciação celular, iniciação e aparecimento (morfogênese) de órgãos até a maturação e a senescência da cultura (HODGES, 1991; WILHELM; McMASTER, 1995).

Um parâmetro importante do desenvolvimento vegetativo é o número de nós acumulados na haste principal (NN), pois está relacionado com o aparecimento de outros órgãos na planta (STRECK, 2003b). Uma maneira de estimar NN é através da taxa de aparecimento de nós (TAN) que, ao ser integrada no tempo fornece o NN acumulados na haste principal (STRECK et al., 2003a). A TAN pode ser obtida através do conceito do plastocrono, definido como a soma térmica necessária para o aparecimento de dois nós sucessivos em uma haste ($^{\circ}\text{C dia nó}^{-1}$) (BAKER; REDDY, 2001). Outra forma de estimar a TAN é através de modelos multiplicativos compostos por funções de resposta, como o modelo de Wang e Engel (WANG; ENGEL, 1998), que simula o desenvolvimento através de uma função de temperatura [f(t)].

A f(T) do modelo de WE é descrita por uma função não linear que considera no seu cálculo as três temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) (STRECK et al., 2003a). A

soma térmica é considerada um modelo linear, para o qual vários métodos de cálculo são descritos, que se diferenciam pelo uso ou não das três temperaturas cardinais (ROSA et al., 2009). Considerando a primeira abordagem, a soma térmica e a $f(T)$ se diferenciam pela forma como ocorre a resposta da temperatura entre as três temperaturas cardinais. A soma térmica considera que o desenvolvimento aumenta linearmente entre a T_b e a $T_{ót}$ e decresce linearmente entre a $T_{ót}$ e a T_B . A $f(t)$ considera que o desenvolvimento aumenta lentamente um pouco acima da T_b , onde torna-se linear até próximo a $T_{ót}$ e volta a decrescer lentamente até a T_B . A inflexão suave gerada pelo modelo de WE não é verificada no modelo do plastocrono que é formado por duas retas (YAN; HUNT, 1999).

No que se refere à resposta da TAN, os dois modelos tendem a se assemelhar em uma faixa intermediária entre a T_b e a $T_{ót}$, e fora desse intervalo o método da soma térmica pode não ser adequado para representar o desenvolvimento (YAN; HUNT, 1999). Nesse sentido, o modelo de WE pode ser uma alternativa ao plastocrono para simular o desenvolvimento de plantas expostas em qualquer variação de temperatura. Estudos com culturas agrícolas como trigo (XUE et al., 2004), batata (STRECK et al., 2007), kiwi (STRECK, 2003b) e milho (STRECK et al., 2008) confirmam a superioridade do modelo de WE.

2.5 Época de plantio e colheita da batata-doce

A época de plantio da batata-doce é recomendada em cada região de acordo com os elementos meteorológicos limitantes ao seu cultivo, como o risco de ocorrência de geadas, médias das temperaturas mínimas e máximas e probabilidade de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento (SILVA; LOPES, 1995). Em algumas regiões produtoras do Brasil, em que não ocorre uma estação fria, a batata-doce pode ser cultivada durante o ano todo, desde que haja ou precipitação ou irrigação suplementar (FILGUEIRA, 2000). Em regiões de clima subtropical e sujeitas a geadas, como o estado do Rio Grande do Sul, o plantio deve ser realizado aproximadamente cinco meses antes de ocorrerem as primeiras geadas (SILVA; LOPES, 1995). Quanto à exigência hídrica, a batata-doce requer em torno de 500 a 600 mm de água quando o ciclo da cultura varia de 16 a 20 semanas (CHUKWU, 1995). Porém, não tolera encharcamento e forma raízes tuberosas finas e alongadas quando há excesso de umidade no solo (MEDEIROS et al., 1990).

A época de plantio tem grande influência sobre o crescimento vegetativo e os componentes de produtividade da batata-doce que incluem o número e o tamanho de raízes. O número de raízes é definido nos primeiros dias após o plantio e o tamanho das raízes é função do tempo de acumulação de fotoassimilados nas raízes. Durante esse período, variáveis ambientais, como temperatura e fotoperíodo interferem no crescimento das raízes (MEDEIROS et al., 1990; VILLORDON et al., 2010). Segundo Castro (2010), no Rio Grande do Sul o plantio pode ser realizado a partir do final do inverno ao final da primavera, mais comumente nos meses de outubro a dezembro, expondo as plantas a diferentes condições ambientais.

As raízes tuberosas se formam ao longo do ciclo da planta, sem apresentar um momento específico de colheita, tratando-se, portanto de uma planta de ciclo perene. Em regiões quentes, com inverno ameno, a cultura vegeta ao longo do ano, não ocorrendo assim o final do ciclo. Fora dessas regiões, a chegada da seca ou do frio faz com que ocorra a senescência natural da parte aérea, podendo a colheita ser realizada nesse momento ou anterior a ele, dependendo da época de plantio (FILGUEIRA, 2000). Em condições ideais de cultivo, a colheita pode se iniciar aos 90 dias, mas em geral, a colheita ocorre entre 120 e 150 dias após o plantio, dependendo do ciclo da cultivar (RESENDE et al., 2000). A colheita precoce penaliza tanto a produtividade como a qualidade final das raízes e a colheita tardia pode implicar em maior dano pelo ataque de pragas e na obtenção de raízes grandes e com baixa qualidade comercial (SILVA et al., 2004).

3 ARTIGO I

Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce

Resumo: O objetivo deste trabalho foi determinar as temperaturas cardinais da batata-doce e comparar a simulação da emissão de nós com o modelo do plastocrono (linear) e com o modelo de Wang e Engel (não linear) e a melhor forma de entrada da temperatura do ar nos modelos. A calibração e o teste dos modelos foram feitos através de dados de número de nós na haste principal de plantas de batata-doce, cultivar Princesa, coletados em experimentos conduzidos em Santa Maria, RS, Brasil em sete épocas de plantio nos anos 2010, 2011 e 2012. Melhor predição dos modelos foi obtida com o uso das temperaturas cardinais 12, 30 e 40 °C. Os modelos plastocrono e Wang e Engel apresentaram desempenho semelhante. A versão da temperatura média foi superior a temperatura mínima e máxima em ambos os modelos. Os dois modelos podem ser utilizados para simular o desenvolvimento vegetativo da batata-doce quando cultivada na época recomendada. Fora desse período sugere-se o uso do modelo de Wang e Engel.

Palavras chave: *Ipomoea batatas*, fenologia, plastocrono, temperatura do ar

Estimation of cardinal temperatures and modeling the vegetative development in sweet potato

Abstract: The objective of this study was to determine the cardinal temperatures of sweet potato and compare the simulation of node appearance with the plastochron model (linear) and with Wang and Engel model (nonlinear) and the best way input air temperature in the models. Models calibration and the test were with data of number of nodes on the main stem of sweet potato plants, cultivar Princesa, collected in experiments conducted in Santa Maria, RS, Brazil at seven planting dates in 2010, 2011 and 2012 growing seasons. Better model predictions were obtained using the cardinal temperatures of 12, 30 and 40 °C. The plastochron and Wang and Engel models showed similar performance. The version with mean temperature was superior to the version with the minimum and maximum temperature as input in both models. Both models can be used to simulate the development of sweet potatoes when it is cultivated in the recommended period. Outside this period we suggest using the Wang e Engel model.

Key words: *Ipomoea batatas*, phenology, plastochron, air temperature

INTRODUÇÃO

Modelos de simulação das culturas permitem descrever as interações entre a planta e o ambiente. Assim, representam uma ferramenta para estudar a resposta e a adaptação da agricultura às alterações do clima, uma vez que podem quantificar as mudanças no ciclo das culturas em diferentes cenários climáticos (Walter et al., 2010). Além disso, a grande variabilidade de condições meteorológicas em diferentes regiões, tornam a modelagem uma ferramenta útil na definição de práticas de manejo (Streck et al., 2006).

O desenvolvimento vegetativo, representado pela taxa de aparecimento de nós (TAN), é uma parte importante de modelos de simulação de culturas agrícolas (Streck et al., 2006). A integração da TAN no tempo fornece o número de nós (NN) acumulados, que está relacionado com diferentes fases de desenvolvimento da planta e com a evolução da área foliar, responsável pela interceptação da radiação solar e fotossíntese (Streck et al., 2003a ; Xue et al., 2004).

A temperatura é o principal fator que determina a TAN nas plantas, que é máxima sob temperatura ótima (Tot) e cessa quando a temperatura está abaixo ou acima da temperatura basal inferior (Tb) e basal superior (TB). Esses pontos na resposta do desenvolvimento à temperatura caracterizam as temperaturas cardinais de cada espécie (Yan & Hunt, 1999). Para a batata-doce diferentes valores são citados na literatura, principalmente para a Tb. O desenvolvimento é máximo em temperaturas próximas a 30 °C (Silva & Lopes, 1995; Villavicencio et al., 2007) e é paralisado em temperaturas acima de 40 °C (Ravi et al., 2009) e em temperaturas baixas, com valores variando de 10 a 15 °C (Silva & Lopes, 1995; Noh et al., 2009; Villordon, et al., 2009). Esta variação nos valores de temperaturas cardinais citados na literatura é uma dificuldade para a modelagem desta cultura, havendo necessidade, portanto, de se determinar com mais precisão tais temperaturas.

A TAN pode ser estimada através do plastocrono, definido como a soma térmica necessária para o aparecimento de dois nós sucessivos em uma haste (Baker & Reddy, 2001). Embora seja um modelo muito utilizado, por sua simplicidade, a soma térmica apresenta desvantagens, entre elas a pressuposição de que a resposta da TAN é linear à temperatura (Xue et al., 2004), o que ocorre apenas em uma faixa entre a Tb e a Tot. Em temperaturas próximas à Tb e acima da Tot, a resposta é melhor descrita de forma não linear (Streck et al., 2011). Assim, o plastocrono pode não ser o melhor modelo em situações que a temperatura esta fora do intervalo linear, como em datas de plantio precoces e tardias, quando

temperaturas frias são frequentes e sob cenários de mudança climática, quando temperaturas mais altas são frequentes (Streck et al., 2009).

Uma alternativa à soma térmica são os modelos multiplicativos e que empregam funções de resposta não lineares, como o modelo de Wang e Engel (Wang & Engel, 1998). A função de temperatura $f(T)$ usada nesse modelo contempla a faixa linear do desenvolvimento e assim pode funcionar melhor nas diferentes situações e regiões de cultivo (Streck, 2003a). Estudos indicam que este modelo tem melhor desempenho do que o método da soma térmica para descrever a emissão de folhas em outras culturas agrícolas, como kiwi (Streck, 2003a), trigo (Xue et al., 2004), batata (Streck et al., 2007) e milho (Streck et al., 2008b).

A temperatura é a principal variável ambiental de entrada nos modelos da soma térmica e na $f(T)$. Há duas maneiras de entrada da temperatura: com a média entre a temperatura mínima e máxima diária do ar ou com cada valor de temperatura mínima e máxima diária (Xue et al., 2004). Estas duas versões podem render resultados distintos no desempenho dos modelos para diferentes culturas agrícolas. Por exemplo, em milho houve melhora na predição da velocidade de aparecimento de folhas com a versão T_{mm} (Streck et al., 2009), no entanto em trigo melhor predição foi obtida com o uso da T_{med} (Xue et al., 2004). Portanto, as duas versões devem ser testadas nos modelos para a batata-doce.

O objetivo deste trabalho foi determinar as temperaturas cardinais da batata-doce e comparar a simulação da emissão de nós com o modelo do plastocrono (linear) e com o modelo de Wang e Engel (não linear) e a melhor forma de entrada da temperatura do ar nos modelos.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimentos de campo com a cultura da batata-doce foram conduzidos no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria, RS, latitude: 29° 43'S, longitude: 53°43' W e altitude: 95 m) durante os anos de 2010, 2011 e 2012 em diferentes épocas de plantio a fim de submeter as plantas às condições térmicas diversas durante a emissão de nós. O solo do local é uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Alissolo Hipocrômico argilúvico típico) (Streck et al., 2008). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida.

A cultivar de batata-doce utilizada foi a Princesa da Embrapa Hortaliças. As mudas utilizadas no plantio foram produzidas em bandejas de 128 células com substrato comercial

através do enraizamento de hastes de batata-doce com três a quatro nós. O preparo do solo foi convencional com aração e gradagem e construção de camalhões de 30 a 40 cm de altura. A adubação foi aplicada no camalhão antes do plantio de acordo com a análise química do solo e recomendação técnica para a cultura. O plantio foi realizado quando as mudas tinham em torno de 6 a 8 folhas no espaçamento de 1,0 m (entre camalhões) x 0,4 m (entre plantas). Na primeira semana após o transplante foram realizadas irrigações diárias para facilitar o pegamento das mudas. Após esse período foram realizadas irrigações suplementares após longos períodos sem precipitação (10 a 15 dias) (Castro, 2010), de modo que não houve estresse hídrico. O controle de plantas daninhas foi manual sempre que necessário.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de três fileiras de 4 m de comprimento com 10 plantas por fileira, sendo as duas fileiras laterais como bordadura. As datas de plantio foram: 27/03/2010 (época 1), 18/10/2010 (época 2), 21/12/2010 (época 3), 25/08/2011 (época 4), 21/11/2011 (época 5), 03/01/2012 (época 6) e 13/02/2012 (época 7). Foram marcadas seis plantas na fileira central de cada parcela, nas quais uma ou duas vezes por semana foi contado o número de nós visíveis na haste principal (NN). Um nó foi considerado visível quando a folha associada a ele apresentava as bordas do limbo foliar desenrolado e separadas. As avaliações foram realizadas até o dias 07/06/2010 (época 1), 27/02/2011 (época 2), 09/03/2011 (época 3), 14/12/2011 (época 4), 23/02/2012 (época 5), 02/04/2012 (época 6) e 14/05/2012 (época 7).

Os dados diários de temperatura mínima (TN) e máxima (TX) do ar e radiação solar global incidente foram coletados na Estação Climatológica Principal do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (Dismet/Inmet), localizada a aproximadamente 100 m da área experimental.

Dois modelos foram utilizados para simular a emissão de nós em batata-doce, o modelo do plastocrono (PLASTO) e o modelo de Wang e Wengel (WE). A representação gráfica dos dois modelos está na Figura 1.

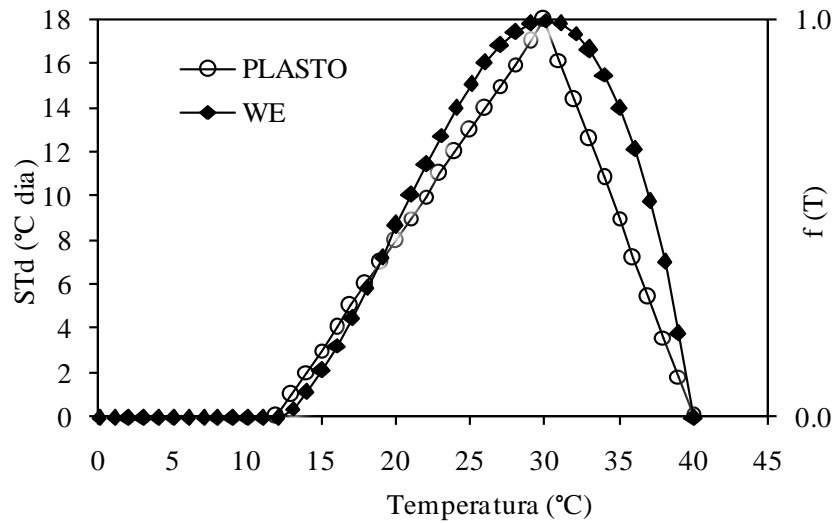


Figura 1. Representação gráfica da resposta da emissão de nós à temperatura do ar no modelo do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Wengel (WE) com as temperaturas cardinais de 12, 30 e 40 °C. STd é a soma térmica diária (°C dia) e f(T) é a função de resposta à temperatura

No modelo PLASTO, o número de nós na haste principal (NN) foi calculado por:

$$NN = \frac{STa}{PLAST} (\text{nós.haste}^{-1}) \quad (1)$$

Em que STa é a soma térmica acumulada (°C dia) e $PLAST$ é o valor do plastocrono (°C dia nó⁻¹) calculado pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre o NN e STa a partir da data em que as plantas foram marcadas (Baker & Reddy, 2001). A STa foi calculada por (Arnold, 1960):

$$STa = \sum STd (\text{°C dia}) \quad (2)$$

Em que $\sum STd$ é o somatório das somas térmicas diárias.

A soma térmica diária (STd) foi calculada por (Arnold, 1960):

$$STd = (T - Tb), \text{ quando } Tb < T \leq Tot \quad (3)$$

$$STd = \frac{(Tot - Tb) \cdot (TB - T)}{TB - Tot}, \text{ quando } Tot < T \leq TB \quad (4)$$

Em que Tb , Tot e TB são as temperaturas cardinais para aparecimento de nós em batata-doce e T é a temperatura diária do ar (°C).

No modelo de WE, o NN foi calculado por (Wang & Engel, 1998; Streck, 2003b):

$$NN = \sum TAN (\text{nós.haste}^{-1}) \quad (5)$$

Em que $\sum TAN$, o somatório da taxa de aparecimento de nós diária.

A taxa de aparecimento de nós diária (TAN) foi calculada por:

$$TAN = TAN_{max} \cdot f(T) \quad (6)$$

Em que TAN_{max} é a taxa diária máxima de aparecimento de nós ($nós.dia^{-1}$) sob ótima temperatura e $f(T)$ é a função resposta à temperatura. A TAN_{max} foi estimada pelo método dos mínimos quadrados, que minimiza os resíduos entre valores observados e simulados de NN. A função de temperatura $f(T)$ no modelo de WE é uma versão da função beta que varia de zero a um e definida como:

$$f(T) = \frac{[2(T - Tb)^\alpha (Tot - Tb)^\alpha - (T - Tb)^{2\alpha}]}{(Tot - Tb)^{2\alpha}}, \text{ quando } Tb \leq T \leq TB \quad (7)$$

$$f(T) = 0, \text{ quando } T < Tb \text{ ou } T > TB \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{\ln 2 / \ln(TB - Tb)}{Tot - Tb} \quad (9)$$

Em que Tb , Tot e TB são as temperaturas cardinais para aparecimento de nós em batata-doce e T é a temperatura diária do ar ($^{\circ}C$).

Diferentes combinações de temperaturas cardinais foram usadas no cálculo da STd nas Eqs. 3 e 4, e na $f(T)$ nas nas Eqs. 7 e 8 para determinar as temperaturas cardinais. Assim foram testados Tb de 10, 11, 12, 13, 14 e 15 $^{\circ}C$, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32 $^{\circ}C$ e TB de 40, 41, 42, 43 e 44 $^{\circ}C$ (Silva & Lopes, 1995; Villavicencio et al., 2007; Noh et al., 2009; Ravi et al., 2009; Villordon et al., 2009).

Foram ainda consideradas duas versões do modelo PLASTO e de WE quanto à maneira como a temperatura do ar foi usada no cálculo da STd nas Eqs. 3 e 4, e na $f(T)$ nas Eqs. 7 e 8. Na versão Tmed, o cálculo da STd e $f(T)$ foi feito com a temperatura média diária do ar (TM) calculada pela média aritmética entre a TN e TX. Na versão Tmm, calculou-se separadamente a STd e a $f(T)$ com a TN e com a TX, e depois calculou-se a média aritmética das STd e das $f(T)$ s diárias (Xue et al., 2004; Streck et al., 2009).

Os coeficientes PLAST e TAN_{max} são dependentes do genótipo e foram estimados com dados de NN da cultivar Princesa obtidos na época 2. Para avaliar o desempenho dos modelos foram utilizados dados independentes de NN coletados nas épocas 1, 3, 4, 5, 6 e 7. O desempenho dos modelos foi avaliado pelas seguintes estatísticas:

Raiz do quadrado médio do erro (RQME) (Janssen & Heuberger, 1995):

$$RQME = \left[\frac{\sum (Si - Oi)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (10)$$

Em que S_i são os valores simulados, O_i são os valores observados e n é o número de observações. Quanto menor é o valor dessa estatística melhor o modelo.

O $QME(RQME^2)$ foi decomposto em erro sistemático ($QMEs$) e não sistemático ($QMEns$) de acordo com Willmott (1981):

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

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

Baixo $QMEs$ e alto $QMEns$ são características de um bom modelo.

O Índice BIAS expressa a tendência do modelo e varia de valores positivos, quando há superestimativa a negativos quando há subestimativa do modelo. Quanto mais próximo de zero melhor o modelo (Leite & Andrade, 2002):

$$BIAS = \frac{\sum S_i - \sum O_i}{\sum O_i} \quad (13)$$

O coeficiente de correlação (r) permite quantificar o grau de associação entre duas ou mais variáveis. O valor de r varia de -1 a 1 e quanto maior o valor absoluto de r maior a adesão entre os valores observados e simulados (Camargo & Sentelhas, 1997):

$$r = \frac{[\sum (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})]}{\{[\sum (O_i - \bar{O})^2][\sum (S_i - \bar{S})^2]^{0,5}\}} \quad (14)$$

Em que \bar{O} é a média dos valores observados e \bar{S} é a média dos valores simulados.

O índice de concordância (dw) fornece a exatidão do modelo e seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a um para a concordância perfeita (Willmott, 1981):

$$dw = \frac{1 - [\sum (S_i - O_i)^2]}{[\sum (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)]^2} \quad (15)$$

Foi feita regressão entre valores observados e simulados a fim de observar a dispersão dos dados e adotou-se o método proposto por Michel (1997), no qual os desvios (simulados menos observados) foram plotados com os valores observados e foram contabilizados os pontos que estavam fora de um intervalo aceitável de erro (envelope) de ± 2 nós.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas diferentes épocas de plantio as plantas foram expostas a condições variadas de temperatura e radiação solar (Tabela 1). Nos experimentos envolvendo os anos 2010/2011 o

mês mais frio foi junho de 2010 (TN 10,3 °C) e o mês mais quente foi janeiro de 2011 (TX 32,4 °C) e nos anos 2011/2012 o mês mais frio foi agosto de 2011 (TN 10,9 °C) e o mês mais quente foi fevereiro de 2012 (TX 33,1 °C). Durante todos os experimentos o mês de dezembro apresentou as maiores médias de radiação solar e os meses de menor radiação foram maio de 2010 e agosto de 2011. Essas diferentes condições meteorológicas afetaram a velocidade de emissão de nós e são importantes para a calibração e avaliação de modelos matemáticos (Streck et al., 2007).

Tabela 1. Média mensal da temperatura mínima (TN) e máxima (TX) do ar e radiação solar global incidente durante o período experimental nos anos 2010, 2011 e 2012

Ano	Mês	Temperatura (°C)		Radiação solar global (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
		TN	TX	
2010	Março	19,2	30,1	15,7
2010	Abril	14,2	26,1	12,3
2010	Maio	12,6	21,0	7,9
2010	Junho	10,8	19,9	7,9
2010	Outubro	12,7	24,4	16,7
2010	Novembro	14,9	27,7	19,1
2010	Dezembro	18,4	30,4	21,2
2011	Janeiro	21,8	32,5	19,5
2011	Fevereiro	20,9	30,0	17,3
2011	Março	18,2	28,8	16,3
2011	Agosto	10,9	19,9	10,2
2011	Setembro	11,1	23,5	13,9
2011	Outubro	14,6	25,2	16,2
2011	Novembro	16,1	29,0	19,4
2011	Dezembro	17,2	30,3	20,3
2012	Janeiro	19,5	33,0	18,0
2012	Fevereiro	21,2	33,1	19,1
2012	Março	17,2	30,3	15,5
2012	Abril	13,7	25,3	13,4
2012	Maio	11,9	24,8	11,4

As estimativas dos coeficientes dos modelos com diferentes combinações de temperaturas cardinais indicaram que as temperaturas de 12 e 13 °C em combinação com 30 e 40 °C proporcionaram o melhor desempenho dos modelos, indicado pelo menor valor de RQME (Tabela 2). Esses resultados concordam com Noh et al (2009), em que o desenvolvimento de plantas de batata-doce expostas a temperaturas de 12 °C foi severamente prejudicado com redução acentuada no número de folhas e crescimento da planta. Temperaturas de 14 e 15 °C são citadas como limitantes ao crescimento das raízes tuberosas, que tem exigências térmicas diferentes daquelas ao desenvolvimento vegetativo (Ravi et al.,

2009; Villordon et al, 2009). Temperatura de 30 °C favorece o desenvolvimento da parte aérea da planta, enquanto temperatura de 25 °C é considerada ótima para o crescimento da raiz (Villavicencio et al.,2007). Já em temperaturas supra-ótimas, o desenvolvimento vegetativo se mantém até 40 °C, o que não acontece com o crescimento das raízes (Ravi et al., 2009). Assim, as temperaturas de 12, 30 e 40 °C foram consideradas as temperaturas cardinais (Tb, Tot e TB, respectivamente) nos dois modelos (PLASTO e WE). Com estas temperaturas cardinais, os coeficientes PLAST e TANmax foram estimados como 23,8 e 19,8 °C dia nó⁻¹ e 0,698 e 0,824 nós dia⁻¹, nas versões Tmed e Tmm, respectivamente.

Tabela 2. Valores dos coeficientes PLAST (°C dia nó⁻¹) e TANmáx (nós dia⁻¹) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais, em duas versões (Tmed e Tmm) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE)

Temperaturas cardinais			PLASTO				WE			
Tb	Tot	TB	Tmed		Tmm		Tmed		Tmm	
			PLAST	RQME	PLAST	RQME	TANmáx	RQME	TANmáx	RQME
10	28	40	26,80	2,8	20,20	5,4	0,621	4,0	0,733	4,7
10	29	40	27,30	2,7	21,60	4,9	0,648	3,1	0,762	4,3
10	30	40	27,30	2,6	22,90	4,6	0,689	2,6	0,802	3,8
10	31	40	27,30	2,6	24,20	4,2	0,753	2,5	0,857	3,3
10	32	40	27,30	2,6	25,10	3,9	0,853	2,5	0,934	2,8
11	28	40	25,1	2,6	18,70	5,2	0,623	3,7	0,742	4,6
11	29	40	25,5	2,4	20,00	4,7	0,651	2,9	0,771	4,2
11	30	40	25,60	2,3	21,40	4,3	0,693	2,4	0,812	3,7
11	31	40	25,60	2,3	22,50	4,0	0,759	2,3	0,868	3,3
11	32	40	25,50	2,3	23,50	3,7	0,862	2,7	0,946	2,8
12	28	40	23,40	2,3	17,2	4,9	0,625	3,4	0,752	4,4
12	29	40	23,80	2,1	18,5	4,5	0,654	2,7	0,796	4,0
12	30	40	23,80	2,1	19,80	4,2	0,698	2,2	0,824	3,5
12	31	40	23,80	2,1	20,90	3,9	0,766	2,3	0,881	3,1
12	32	40	23,80	2,1	21,80	3,6	0,872	2,7	0,960	2,9
13	28	40	21,70	2,2	15,70	4,6	0,630	3,1	0,763	4,2
13	29	40	22,10	2,1	16,90	4,3	0,658	2,4	0,795	3,8
13	30	40	22,10	2,1	18,20	4,0	0,700	2,2	0,837	3,4
13	31	40	22,10	2,1	19,30	3,7	0,775	2,5	0,896	3,0
13	32	40	22,10	2,1	20,20	3,4	0,880	3,2	0,976	2,7
14	28	40	20,00	2,4	14,20	4,4	0,632	2,7	0,777	4,0
14	29	40	20,30	2,3	15,50	4,1	0,663	2,3	0,809	3,7
14	30	40	20,40	2,3	16,60	3,9	0,711	2,3	0,853	3,4
14	31	40	20,40	2,3	17,7	3,7	0,784	2,8	0,913	2,9
14	32	40	20,40	2,3	18,50	3,4	0,909	3,6	0,994	2,7
15	28	40	18,30	2,8	12,80	4,3	0,636	2,5	0,795	3,9
15	29	40	18,60	2,8	13,90	4,0	0,669	2,3	0,828	3,6
15	30	40	18,70	2,8	15,10	3,8	0,719	2,6	0,873	3,3
15	31	40	18,70	2,8	16,10	3,6	0,796	3,2	0,934	2,9
15	32	40	18,70	2,8	16,90	3,3	0,916	4,0	1,016	2,6

A RQME para o modelo PLASTO foi 2,1 e 4,1 nós haste⁻¹ na versão Tmed e Tmm e 2,2 e 3,5 nós haste⁻¹ para o modelo de WE na versão Tmed e Tmm, respectivamente (Tabela 2). Esses valores indicam melhor desempenho do modelo PLASTO versão Tmed, embora a diferença para o modelo de WE nesta versão foi pequena (0,1 nós haste⁻¹). Os modelos usados neste estudo simularam melhor o número de nós que os modelos MADHURAM (Somasanduran & Mithra, 2008) e SPOTCOMS (Mithra & Somasanduran, 2008), em que os erros variaram de 5,8 até 19,3 nós.

Tabela 3. Valores das estatísticas raiz do quadrado médio do erro (RQME), erro sistemático (QMEs), erro não sistemático (QMEs), índice BIAS, índice de concordância (dw) e coeficiente de correlação (r) utilizadas na avaliação de duas versões (Tmed e Tmm) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Wengel (WE) na simulação da emissão de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa

Estatística	Tmed		Tmm	
	PLASTO	WE	PLASTO	WE
RQME (nós)	2,10	2,20	4,10	3,50
QMEs (%)	11,1	3,30	19,50	13,70
QMEs (%)	88,9	96,70	80,50	86,30
BIAS	0,003	0,002	-0,011	-0,007
dw	0,993	0,992	0,972	0,979
r	0,986	0,985	0,946	0,940

O componente sistemático (QMEs) para o modelo de WE nas versões Tmed e Tmm foi menor (3,3% e 13,7%, respectivamente) que no modelo PLASTO (11,1% e 19,5%, respectivamente) indicando que o modelo de WE é superior nesta estatística. Os valores das estatísticas dw e r foram elevados (acima de 0,95) em todos os modelos e versões, sendo maior nos modelos da versão Tmed. Considerando essa versão, não houve diferenças acentuadas entre PLASTO e WE para os valores de dw (0,993 e 0,992) e r (0,986 e 0,985). Para os valores de BIAS, houve uma subestimação do NN para a versão Tmm, e os modelos na versão Tmed apresentaram os valores mais próximos a zero (Tabela 3).

A análise visual dos dados observados e simulados indica melhor desempenho para os modelos na versão Tmed, sendo que tanto para PLASTO como para WE os valores simulados estão próximos da linha 1:1 (Figura 2A e 2B). O valor do resíduo, apresentado nas inserções de cada painel da Figura 2, também foi semelhante entre os dois modelos nessa versão. Os desvios variaram de 4,7 a -6,8 nós haste⁻¹ para o PLASTO e 5,9 a -6,5 nós haste⁻¹ para WE. Valores mais elevados são apresentados na versão Tmm, variando de 8,8 a -9 nós haste⁻¹ para o PLASTO e 8,4 a -7,3 nós haste⁻¹ para WE.

Assumindo-se um erro aceitável de dois nós, semelhante ao que foi assumido por Streck et al. (2006) para meloeiro, em um total de 112 pontos, o número de pontos com desvios iguais ou maiores que dois foi de 30 (27%) para o PLASTO e 32 (28%) para WE na versão Tmed, confirmando mais uma vez a similar performance de ambos. Na versão Tmm, o número de pontos fora do intervalo aceitável foi 71 (63%) para o PLASTO e 67 (60%) para WE.

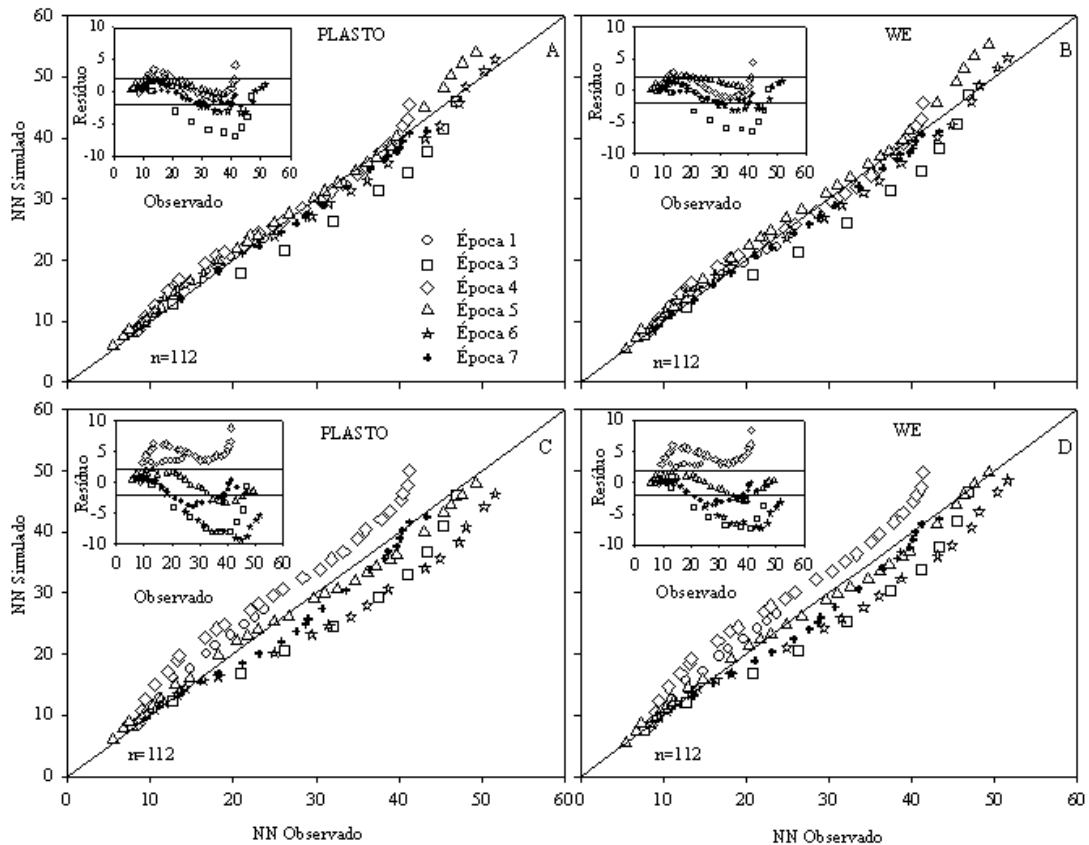


Figura 2. Número de nós (NN) observados versus simulados na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes, pelos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Wengel (WE) em duas versões de temperatura do ar (Tmed: A e B; Tmm: C e D). A linha cheia é a linha 1:1. O resíduo (NN simulados menos NN observados) versus o NN observados é apresentado nas inserções, com envelope de ± 2 nós

Na análise para cada época de plantio, o RQME foi maior para os modelos na versão Tmm (Tabela 4), com exceção da época 5 (plantio em 21/11/2011), em que os modelos tiveram melhor desempenho, destacando-se o modelo de WE. Para as outras épocas, o RQME variou de 2,22 a 5,81 nós h^{-1} . Na versão Tmed, os valores variaram de 1,21 a 2,41 nós h^{-1} , com exceção da época 3, em que os valores foram os mais elevados. Acredita-se que

o maior erro encontrado nesta época seja pelo aumento da velocidade de emissão de nós devido às irrigações mais frequentes realizadas. De acordo com Sasaki & Machado (1999) maior disponibilidade de água no solo leva a um aumento da condutância estomática e da transpiração. Com isso, maior é o suprimento de CO₂ intracelular necessário para a ocorrência da fotossíntese e produção de carboidratos para o desenvolvimento da planta. Considerando a versão Tmed, não há diferenças acentuadas entre WE e PLASTO nas diferentes épocas, sendo que as maiores diferenças de RQME foram de 0,1; 0,18 e 0,58 nós haste⁻¹ nas épocas 1, 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4. Raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação da emissão de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, com os modelos plastocrono (PLASTO) e Wang e Wengel (WE) em duas versões (Tmed e Tmm) em cada época de plantio usada como dado independente

Época	RQME (nós haste ⁻¹)			
	Tmed		Tmm	
	PLASTO	WE	PLASTO	WE
1 (27/03/2010)	1,31	1,21	3,05	2,52
3 (21/12/2010)	4,34	4,28	5,47	4,92
4 (25/08/2011)	1,87	1,69	5,01	4,63
5 (21/11/2011)	1,83	2,41	1,90	1,42
6 (03/01/2012)	1,94	1,90	5,81	4,45
7 (13/02/2012)	1,31	1,35	2,37	2,22

Os resultados encontrados indicam que o uso da TN e TX nos modelos PLASTO e WE não melhorou a simulação NN comparado com o uso da TM. Esses resultados contrastam com os resultados de Streck et al. (2009) que encontraram melhora na predição da velocidade de aparecimento de folhas em milho com a versão Tmm no modelo de WE, mas concordam com Xue et al.(2004), em que o uso da TM promoveu melhor previsão de Estágio Haun em trigo de inverno que com o uso da TN e TX no modelo de WE. Assim, sugere-se que o uso da TM como dado de entrada dos modelos PLASTO e WE na cultura da batata-doce, por ser uma abordagem mais simples.

Na versão Tmed, os dois modelos tiveram desempenho semelhante. Uma possível explicação para esses resultados é que, tanto PLASTO quanto WE, tendem a se assemelhar na resposta da emissão de nós em uma grande faixa de temperaturas do ar entre a Tb e a Tot (Figura 1). Quando o ciclo da cultura ocorre na época recomendada, geralmente as temperaturas se enquadram nessa faixa, e, neste caso, os dois modelos funcionam bem (Streck et al., 2005).

A batata-doce é uma planta perene de origem tropical, e em condições subtropicais o cultivo é sazonal. Segundo Castro (2010), no Rio Grande do Sul seu plantio pode ser realizado durante a primavera e o verão, entre os meses de outubro a janeiro e o ciclo pode estender-se até o outono. As épocas 2, 3, 5, 6 e 7 utilizadas neste trabalho se enquadram no período recomendado, onde as temperaturas médias diárias do ar estiveram quase sempre abaixo da temperatura ótima (30 °C), com exceção de um dia, em 11 de janeiro de 2012, e dois dias, em 16 e 17 de fevereiro de 2012 (Figura 3B). As épocas 1 e 4, realizadas fora do período recomendado, tiveram temperaturas baixas e próximas à T_b no início da época 1 (Figura 3A) e final da época 4 (Figura 3B), e nesse caso o modelo de WE foi ligeiramente superior (Tabela 4).

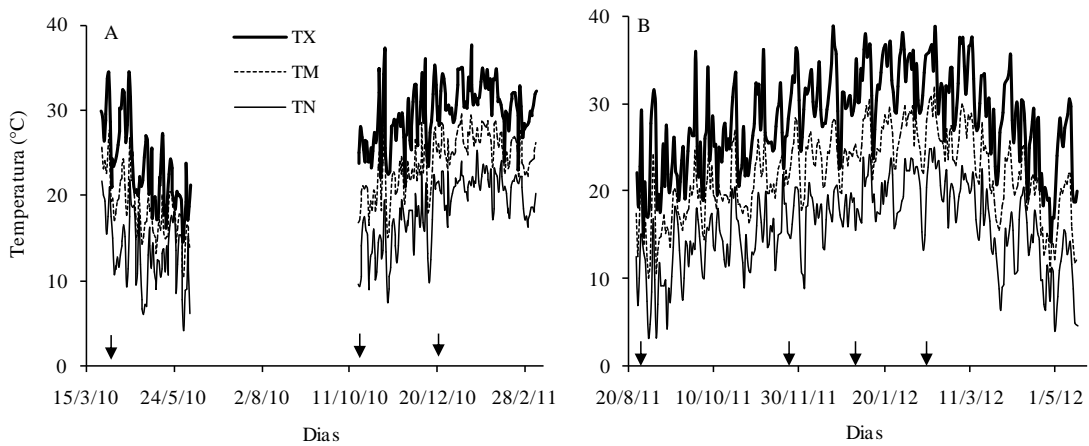


Figura 3. Temperaturas máxima (TX), média (TM) e mínima (TN) diária do ar durante o período experimental nos anos de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B). As setas indicam as datas de plantio (Épocas 1 a 7)

Modelos que utilizam funções não lineares de resposta à temperatura são reconhecidos como superior à soma térmica para descrever o desenvolvimento de várias espécies (Streck, 2003a; Xue et al., 2004; Streck et al., 2007, 2008b;). Mas resultados relatados por Streck et al. (2011) mostram similar desempenho entre o modelo de WE e da soma térmica para simular o desenvolvimento de cultivares de arroz. Os autores destacam que isso aconteceu, pois as épocas de cultivo apresentaram temperaturas na faixa linear de desenvolvimento do arroz. Em outro trabalho com a cultura do melão, o valor de RQME foi similar para os modelos PLASTO e WE, porém o modelo de WE foi melhor pelo menor valor dos resíduos (Streck et al., 2006). No presente trabalho até mesmo os resíduos foram semelhantes.

Vários fatores contribuem para a escolha de um modelo, dentre os quais se destacam a simplicidade, facilidade de obtenção dos dados de entrada e principalmente significado biológico e definição operacional dos coeficientes (Streck et al., 2011). Tanto PLASTO como WE são considerados modelos de fácil implementação, no entanto, por usar uma $f(T)$ não-linear, o modelo de WE é mais recomendado para descrever o desenvolvimento em resposta a temperatura, pois funciona adequadamente em diferentes condições térmicas. Além disso, apresenta a vantagem de combinar os efeitos do ambiente sobre a TAN de forma multiplicativa (Streck et al., 2003b). Assim, o modelo de WE pode ser uma alternativa ao modelo PLASTO em situações em que este não funciona adequadamente. Em cenários climáticos futuros, em que a temperatura do ar é esperada ser acima da atual, espera-se que a planta de batata-doce seja exposta à temperaturas acima da $T_{ót}$ com mais frequência (IPCC, 2007) e nesse caso o modelo de WE pode descrever melhor o desenvolvimento.

CONCLUSÕES

1. Melhor predição do número de nós em batata-doce é obtida com o uso das temperaturas cardinais 12, 30 e 40 °C.
2. A versão que usa a temperatura média é superior à versão que usa a temperatura mínima e máxima diária do ar como dados de entrada.
3. Os modelos plastocrono e Wang e Engel apresentam desempenho semelhante e ambos podem ser utilizados para simular o desenvolvimento vegetativo da batata-doce quando cultivada na época recomendada. Fora desse período sugere-se usar o modelo de Wang e Engel.

REFERÊNCIAS

- Arnold, C.Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences, v.76, n.1, p.682-692, 1960.
- Baker, J.T.; Reddy, V.R. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. Annals of Botany, v. 87, p.605-613, 2001.
- Camargo, A. P.; Sentelhas, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- Castro, L. A. S. Instruções para plantio de mudas de batata-doce com alta sanidade. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 19 p. (Documentos, 313).

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- Janssen, P. H. M.; Heuberger, P. S. C. Calibration of process-oriented models. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v. 83, p. 55-56, 1995.
- Leite, H. G.; Andrade, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. *Revista Árvore*, v. 26, p.321-328, 2002.
- Michel, P. L. Misuse of regression for empirical validation of models. *Agricultural Systems*, v.54, n.3, p.313-326, 1997.
- Mithra, V. S.; Somasundaram, K. A model to simulate Sweet Potato Growth. *World Applied Sciences Journal*, v.4, p. 568-577, 2008.
- Noh, S. A.; Huh, G. H.; Shin, J. S. Growth retardation and differential regulation of expansin genes in chilling-stressed sweetpotato. *Plant Biotechnol Reports*, v. 3, p. 75–85, 2009.
- Ravi, V.; Naskar, S. K.; Makesh Kumar, T.; Binoy, B.; Krishnan, P. B. S. Molecular physiology of storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). *Journal of Root Crops*, v. 35, p. 1-27, 2009.
- Sasaki, R. M.; Machado, E. C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 34, p. 1571-1579, 1999.
- Silva, J.B.C ; LOPES, C. A. Cultivo de batata- doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 18 p. (Instruções Técnicas - CNPQ,7). 1995.
- 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*, v.33, p.255-262, 2003a.
- Streck, N. A.; Weiss, A.; Xue, Q.; Baenziger, S. P. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.115, p.139-150, 2003b.
- Streck, N. A.; Tibola, T.; Lago, I. ; Buriol, G. A.; Heldwein, A. B.; Schneider, F. M.; Zago, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. *Ciência Rural*, v.35, p.1275-1280, 2005.
- Streck, N. A.; Lago, I.; Buriol, G. A.; Heldwein, A. B.; Tibola, T. A nonlinear model to simulate node appearance in muskmelon (*Cucumis melo* L.) grown inside plastic greenhouse as a function of air temperature. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.14, p.210-216, 2006.

- Streck, N. A.; Paula, F. L. M.; Bisognin, D. A.; Heldwein, A. B.; Dellai, J. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.) Agricultural and Forest Meteorology, v.142, p.1-11, 2007.
- Streck, E.V.; Kampf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Klamt, E.; Nascimento, P. C.; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 126 p.
- Streck, N. A.; Lago, I.; Gabriel, L. F.; Samboranha, F. K. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a non linear model. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.43, p.449-455, 2008b.
- Streck, N. A.; Gabriel, L. F.; Samboranha, F. K.; Lago, I.; Schwantes, A. P.; Schons, A. Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. Ciência Rural, v.39, p.642-648, 2009.
- Streck, N. A.; Lago, I.; Oliveira, F. B.; Heldwein, A. B.; Avila, de L. A.; Bosco, L. C. Modeling the development of cultivated rice and weedy red rice. American Society of Agricultural and Biological Engineers, v.54, p.371-384, 2011.
- Somasundaram, K.; Mithra, V.S. MADHURAM: A simulation model for sweet potato growth. World Journal of Agricultural Sciences, v.4, p.241–254, 2008.
- Villavicencio, L. E. ; Blankenship, S. M.; Yencho, G. C.; Thomas, J. F.; Raper, C. D. Temperature effect on skin adhesion, cell wall enzyme activity, lignin content, anthocyanins, growth parameters, and periderm histochemistry of sweet potato. Journal of the American Society for Horticultural Science, v.132, p.729–738, 2007.
- Villordon, A.; Clark, C.; Ferrin, D.; LaBonte, D. Using growing degree days, climatic variables, linear regression, and data mining methods to help improve prediction of sweetpotato harvest date and yield in Louisiana. HortTechnology, v.19, p.133–144, 2009.
- Walter, L. C.; Rosa, H. T.; Streck, N. A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, p. 1237-1245, 2010.
- Wang, E.; Engel, T. Simulation of phenological development of wheat crops. Agricultural Systems, v.58, p.1-24, 1998.
- Willmott, C. J. On the validation of models. Physical Geograph, v.2, p.184-194, 1981.
- Xue, Q.; Weiss, A.; Baenziger, S. P. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. Ecological Modeling, v. 175, p. 261-270, 2004.
- Yan, W. K.; Hunt, L.A. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. Annals of Botany, v.84, p.607-614,1999.

4 ARTIGO I I

Tuberização e produtividade da batata-doce em função de datas de plantio em ambiente subtropical

Tuberization and yield of sweet potato as a function of planting date in a subtropical environment

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes datas de plantio no início de tuberização (IT) e produtividade de raízes tuberosas de batata-doce em ambiente subtropical. Um experimento a campo foi conduzido em Santa Maria, RS, Brasil, com quatro datas de plantio (25/08/2011; 21/11/2011; 03/01/2012 e 13/02/2012), para obter plantas crescendo em diferentes condições ambientais, principalmente de temperatura e fotoperíodo. A variedade usada foi a Princesa na densidade de plantio de 25.000 plantas ha⁻¹. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Após o plantio foram coletadas quatro plantas a cada dois dias para a determinação do IT. A colheita foi realizada em 15/05/2012. A duração das fases plantio - início de tuberização (PL-IT) e início de tuberização - colheita (IT-CO) foi expressa em dias do calendário civil e em soma térmica (°C dia). As condições de temperatura e fotoperíodo modificaram a duração da fase PL-IT em cada data de plantio, indicando que fotoperíodos curtos aceleram o IT. A produtividade de raízes tuberosas foi maior quando o plantio foi realizado no final do inverno, em decorrência da maior duração da fase IT-CO, que coincidiu com os períodos de alta radiação solar incidente e temperaturas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da batata-doce.

Palavras chave: *Ipomoea batatas*. Raiz tuberosa. Fotoperíodo. Temperatura.

ABSTRACT – The objective of this study was to assess the effect planting dates on tuber initiation (TI) and storage root yield of sweet potato in a subtropical environment. A field experiment was carried out at Santa Maria, RS, Brazil, with four planting dates (25/08/2011; 21/11/2011; 03/01/2012 e 13/02/2012), to obtain plants growing in different environmental conditions, especially temperature and photoperiod. The variety Princesa was used at a density of 25.000 plants ha⁻¹. The experiment was a complete randomized block design with four replications. After planting four plants were collected every two days for determining the TI. Harvesting of all planting dates was on 15/05/2012. The duration of the planting - tuber initiation (PL-TI) and tuber initiation - harvest (TI-HA) phases was expressed in calendar days and thermal time (°C dia). The conditions of temperature and photoperiod modified the phase PL-TI duration in each planting date, indicating that short photoperiods accelerate TI. The storage root yield was higher when planting was done in late winter due to the longer duration of the phase TI-HA, which coincided with periods of high solar radiation and temperatures favorable to the growth and development of sweet potato.

Key words: *Ipomoea batatas*. Storage root. Photoperiod. Temperature.

INTRODUÇÃO

A época de plantio da batata-doce é determinada em função da disponibilidade de elementos climáticos, como temperatura, fotoperíodo e radiação solar, os quais têm grande influência sobre crescimento, desenvolvimento e produtividade de raízes tuberosas (MEDEIROS *et al.*, 1990; VILLORDON *et al.*, 2010). Segundo Queiroga *et al.* (2007) o ciclo de desenvolvimento da batata-doce pode ser dividido em três fases: uma fase inicial que ocorre crescimento das raízes adventícias, uma fase intermediária que ocorre o início de tuberização das raízes e a fase final caracterizada pelo acúmulo de fotoassimilados nas raízes tuberosas. Início de tuberização (IT) precoce, alta taxa de acumulação de amido e longo

período de acúmulo de reservas nas raízes aumentam a produtividade (SOMASUNDARAM; MITHRA, 2008).

O IT caracteriza-se pelo aumento em diâmetro das raízes adventícias (MEDEIROS *et al.*, 1990). A temperatura é descrita como uma das principais variáveis que determina a formação de raízes tuberosas, sendo sensível tanto a baixas como altas temperaturas. Temperaturas elevadas atrasam ou impedem o IT devido à lignificação das raízes adventícias (VILORDON *et al.*, 2009). A temperatura ideal para o crescimento das raízes está em torno de 25 °C, ocorrendo paralização do crescimento em temperaturas abaixo de 15 °C e acima de 35 °C (RAVI *et al.*, 2009; SPENCE; HUMPHRIES, 1972; VILLAVICENCIO *et al.*, 2007).

Outro elemento meteorológico que determina o IT é o fotoperíodo (MEDEIROS *et al.*, 1990), embora haja controvérsia na literatura sobre seu efeito. Somasundaram e Mithra (2008) afirmam que o desenvolvimento das raízes é estimulado por fotoperíodos curtos (13 horas). McDavid; Alamu (1980) verificaram que o aumento do fotoperíodo de 8 para 18 horas reduziu a produção de raízes, que foi maior em plantas expostas a fotoperíodos de 11,5 a 12,5 horas. Em contraste, Mortley *et al.* (2009) afirmam que fotoperíodos longos (18 horas) promoveram maiores produtividades que fotoperíodos curtos (9 horas), assim como Bonsi *et al.* (1994) que relatam maiores produtividades em fotoperíodo de 24 que em 12 horas. Segundo Ravi *et al.* (2009) ainda não está esclarecido o papel do fotoperíodo na dinâmica da indução e crescimento das raízes tuberosas da batata-doce.

Após o IT, a produtividade depende da capacidade da parte aérea em produzir assimilados e translocar para as raízes (SOMASUNDARAM; MITHRA, 2008). Nesse período, níveis elevados de radiação solar combinados com temperaturas adequadas contribuem para maior produção de matéria seca total e, conseqüentemente, para o rendimento das raízes tuberosas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2004).

As raízes crescem continuamente após o IT, não havendo um momento específico de colheita, que pode iniciar aos 90 dias, mas em geral, ocorre entre 120 e 150 dias após o plantio, dependendo do ciclo da cultivar e das condições ambientais de cultivo (RESENDE *et al.*, 2000). Assim, a época de plantio tem um papel importante na produtividade de batata-doce. No Rio Grande do Sul, que apresenta clima subtropical, o período de crescimento da batata-doce é interrompido no inverno devido às baixas temperaturas e ocorrência de geadas (FILGUEIRA, 2000), devendo o plantio ser realizado após esse período.

Não foram encontrados resultados da literatura indicando as épocas de plantio da batata-doce no RS visando maior produtividade. Também não está claro o efeito do fotoperíodo sobre o IT. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de datas de plantio no IT e na produtividade de raízes tuberosas de batata-doce em ambiente subtropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento de campo foi conduzido no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria, RS, latitude: 29° 43'S, longitude: 53°43' W e altitude: 95 m). O solo do local é uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Alissolo Hipocrômico argilúvico típico) (STRECK *et al.*, 2008). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida.

A cultivar de batata-doce utilizada foi a Princesa, da Embrapa Hortaliças, com boa adaptabilidade nas diferentes regiões brasileiras (SILVA; LOPES, 1995). É considerada uma cultivar tardia, devendo ser colhida a partir dos 120-150 dias. Possui alta produtividade potencial (25 a 30 kg ha⁻¹), crescimento rápido e grande vigor vegetativo, o que possibilita o uso da parte aérea na alimentação animal (MIRANDA, 1989).

As mudas utilizadas no plantio foram produzidas em bandejas de 128 células com substrato comercial através do enraizamento de hastes com três a quatro nós, coletadas de plantas matrizes. O preparo do solo foi convencional com aração e gradagem e construção de camalhões de 30 cm de altura. A adubação foi aplicada no camalhão antes do plantio de acordo com a análise química do solo e recomendação técnica para a cultura (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004). O plantio foi realizado quando as mudas tinham em torno de 6 a 8 folhas no espaçamento de 1,0 m (entre camalhões) x 0,4 m (entre plantas), o que equivale a uma densidade de 25.000 plantas ha⁻¹. Na primeira semana após o transplante foram realizadas irrigações diárias para facilitar o pegamento das mudas. Após esse período foram realizadas irrigações suplementares somente após longos períodos sem precipitação (10 a 15 dias) (CASTRO, 2010), de modo que não houve estresse hídrico que comprometesse o crescimento das raízes tuberosas. O controle de plantas daninhas foi manual através de capinas.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de cinco camalhões de 4 m de comprimento com 10 plantas por camalhão (50 plantas por parcela). As determinações de produtividade foram feitas no camalhão central. Nas duas bordaduras externas de cada parcela foram feitas as determinações da data de início de tuberização (IT). O plantio foi realizado em quatro datas: 25/08/2011, 21/11/2011, 03/01/2012 e 13/02/2012. Estas datas foram definidas considerando a época mais indicada para plantio na região, que ocorre do final do inverno ao final da primavera, e também para obter plantas crescendo em diferentes condições ambientais, principalmente de temperatura e fotoperíodo, a fim de determinar sua influência sobre o IT e o crescimento das raízes tuberosas.

Para determinar o IT, quatro plantas foram coletadas a cada dois dias e o diâmetro de suas raízes foi medido com paquímetro. A data do IT foi considerada quando 50% das plantas

amostradas apresentaram pelo menos uma raiz tuberosa com 5 mm de diâmetro (VILORDON *et al.*, 2009). Nesse dia foi contado o número de nós (NN no IT) das plantas amostradas. A duração das fases do plantio ao início de tuberização (PL-IT) e do início de tuberização a colheita (IT-CO) foi expressa em dias do calendário civil e em soma térmica (°C dia). A soma térmica diária (STd, °C dia) foi calculada segundo Arnold (1960):

$$STd = (T - Tb), \text{ quando } Tb < T \leq Tot \quad (1)$$

$$STd = \frac{(Tot - Tb) \cdot (TB - T)}{TB - Tot}, \text{ quando } Tot < T \leq TB \quad (2)$$

Em que Tb , Tot e TB são as temperaturas cardinais, basal inferior, ótima e basal superior, respectivamente, para o crescimento das raízes e TM é a temperatura média diária do ar (°C). Utilizou-se $Tb = 15$ °C $Tot = 25$ °C e $Tmax = 35$ °C (RAVI *et al.*, 2009 ; SPENCE; HUMPHRIES, 1972; VILLAVICENCIO *et al.*, 2007).

A soma térmica acumulada (STa, °C dia) em cada fase foi calculada acumulando-se os valores de STd (ARNOLD, 1960):

$$STa = \sum STd \quad (3)$$

Os dados diários de temperatura mínima (TN) e máxima (TX) do ar e radiação solar global incidente foram coletados na Estação Climatológica Principal do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (Disme/Inmet), a aproximadamente 100 metros da área experimental. A TM diária foi calculada pela média aritmética de TN e TX. O fotoperíodo diário (considerando-se a duração do crepúsculo civil de 6° abaixo do plano do horizonte) foi calculado com o algoritmo de Kiesling (1982).

A colheita em todas as parcelas foi realizada em 15/05/2012, antes do início do inverno e ocorrência de geadas. Foram colhidas oito plantas da fileira central de cada parcela e determinada a produtividade de raízes em massa fresca. As raízes foram classificadas em comerciais e não comerciais (raízes abaixo de 100g) (RESENDE *et al.*, 2000). Dez raízes tuberosas e a parte aérea de quatro plantas de cada parcela foram colocadas em estufa de

ventilação forçada a 60°C até massa constante, para determinação da massa seca. A produtividade em kg ha⁻¹ foi calculada extrapolando-se a área de parcela útil para um hectare.

Os dados de massa fresca e seca de raízes comerciais e não comerciais e massa seca de parte aérea, foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com significância de 5% de probabilidade de erro. Os dados de massa fresca e seca de raízes tuberosas foram ainda submetidos à análise de correlação de Pearson com a duração das fases PL-IT, IT-CO, radiação solar incidente durante a fase IT-CO, NN no IT e massa seca da parte aérea, com o objetivo de identificar caracteres determinantes da produtividade de raízes tuberosas de batata-doce.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo da estação de crescimento, a disponibilidade de radiação solar e o fotoperíodo foram crescentes de agosto a dezembro, e decrescente de janeiro a maio (Figura 1), com mínimo de 10,2 MJ m⁻² dia⁻¹ e 11,5 horas, no mês de agosto/2011 e maio/2012 e máximo de 20,3 MJ m⁻² dia⁻¹ e 14,9 horas no mês de dezembro/2011 para a radiação solar e o fotoperíodo, respectivamente. A temperatura do ar também foi crescente de agosto a fevereiro e decresceu a partir de fevereiro até maio, com mínimo de 10,9 °C e máximo de 33,1 °C em agosto/2011 e fevereiro/2012, respectivamente (Figura 1).

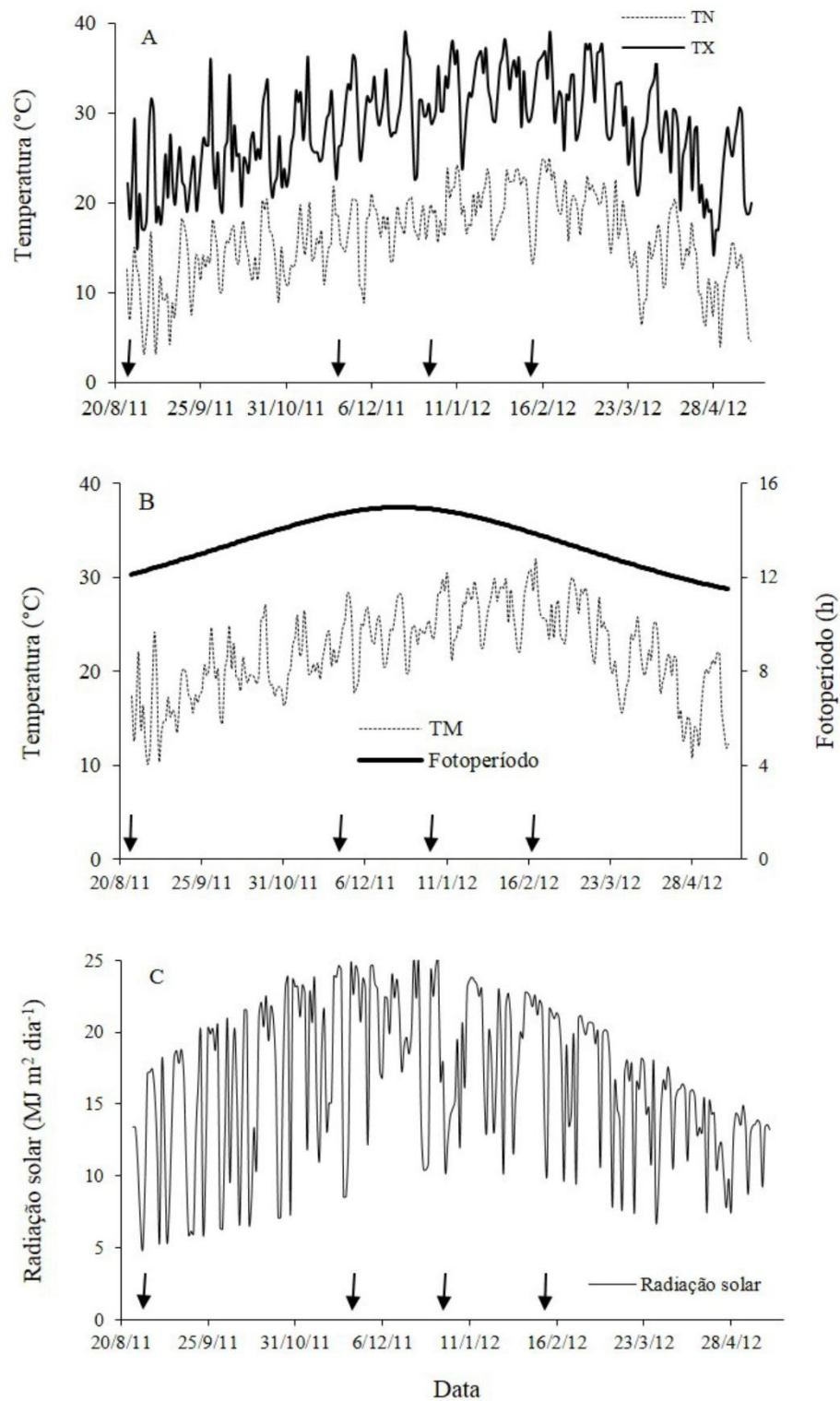


Figura 1 – Temperaturas mínimas (TN) e máximas (TX) diárias do ar (A), temperatura média diária do ar (TM) e fotoperíodo (B) e densidade de fluxo de radiação solar global incidente (C) durante o período de cultivo da batata-doce com quatro datas de plantio (25/08/2011, 21/11/2011, 03/01/2012 e 13/02/2012), indicadas pelas setas. Santa Maria, UFSM, 2012.

A duração, em dias, da fase PL-IT variou entre as datas de plantio (Figura 2A), sendo maior na primeira data (70 dias) que nas outras três datas (58, 55 e 53 dias na segunda, terceira e quarta data, respectivamente). A maior duração desta fase na primeira data de plantio, que ocorreu em final de agosto ao início de novembro, pode ser explicada pela exposição das plantas a temperaturas mais baixas com as médias mensais variando de 15 °C a 20 °C (Figura 1A), o que reduziu o acúmulo térmico diário e assim mais dias foram necessários para atingir o IT. Nas outras datas, essa mesma fase ocorreu nos meses de dezembro a março, quando as médias mensais de temperatura do ar variaram de 24 °C a 27 °C, próximo a temperatura ótima para o crescimento das raízes (25 °C) (RAVI *et al.*, 2009). Medeiros *et al* (1990) relatam que o IT para as cultivares Princesa e Coquinho ocorreu aos 45 e 30 dias após o plantio, realizado em 30/11 e 03/01 na região de Brasília-DF, onde a temperatura do ar é alta e o fotoperíodo é mais curto que em Santa Maria nos meses de verão.

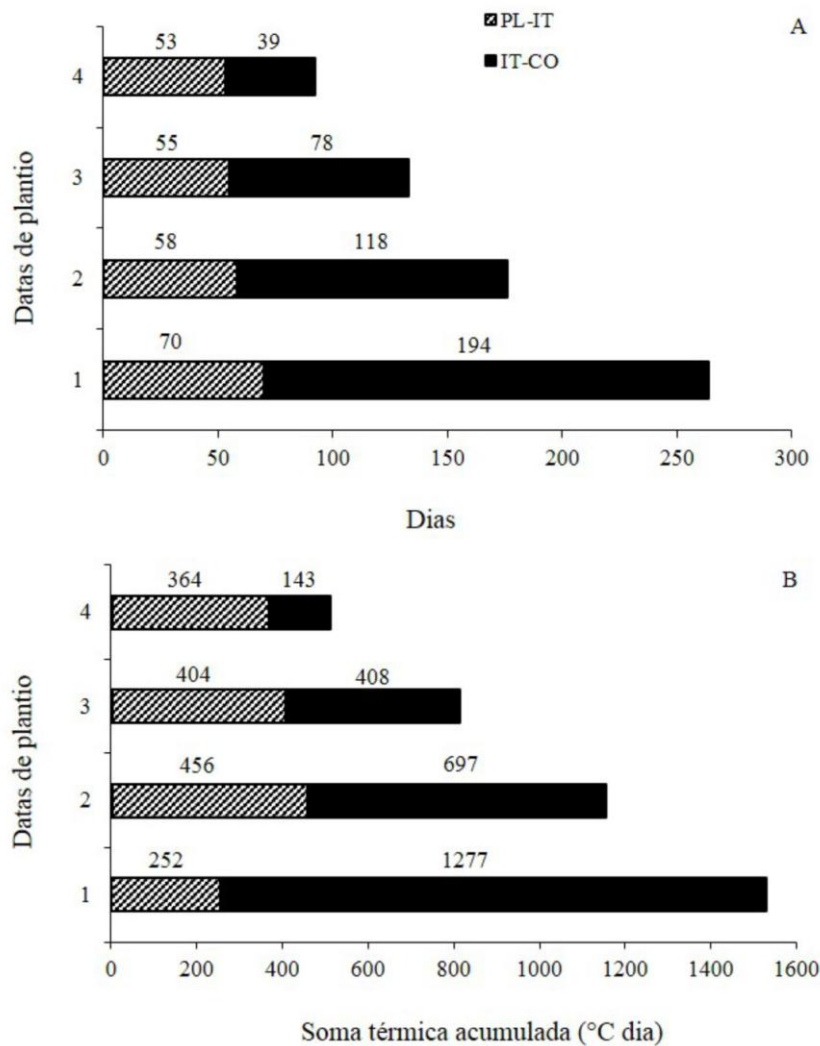


Figura 2 – Duração da fase plantio-início da tuberização (PL-IT) e início da tuberização-colheita (IT-CO) em dias (A) e em °C dia (B) nas quatro datas de plantio de batata-doce, cultivar Princesa. Santa Maria, UFSM, 2012.

Quando a duração da fase PL-IT foi expressa em °C dia, também houve diferença entre as datas de plantio, mas de forma oposta à tendência que ocorreu entre as datas de plantio no período PL-IT expresso em dias do calendário civil (Figura 2B). A primeira data de plantio apresentou menor duração (252 °C dia), seguida pela quarta (364°C dia), terceira (404°C dia) e segunda (456 °C dia) data de plantio. A hipótese para explicar esse resultado é o fotoperíodo médio do período entre o plantio e o IT, que variou de 13,1 a 14,9 nas quatro datas e apresentou relação linear positiva com a STa ($R^2 = 0,75$) (Figura 3), ou seja, à medida que

aumentou o fotoperíodo, maior foi a soma térmica exigida para atingir o IT. Em condições de maior soma térmica, maior é o NN nessa fase, pois a emissão de nós em batata-doce é determinada pela temperatura do ar (SOMASUNDARAM; MITHRA, 2008), o que se confirma pela relação quadrática ajustada entre fotoperíodo e NN no IT (Figura 3). Esses resultados confirmam o que foi relatado por McDavid e Alamu (1980), Onwueme e Charles (1994); Silva e Lopes (1995) e Filgueira (2000) de que fotoperíodos mais curtos favorecem a formação de raízes tuberosas na batata-doce e discordam com os resultados de Bonsi *et al.* (1994) e Mortley *et al.* (2009) que encontraram maior produção de raízes sob fotoperíodos longos de 24 e 18 horas, respectivamente.

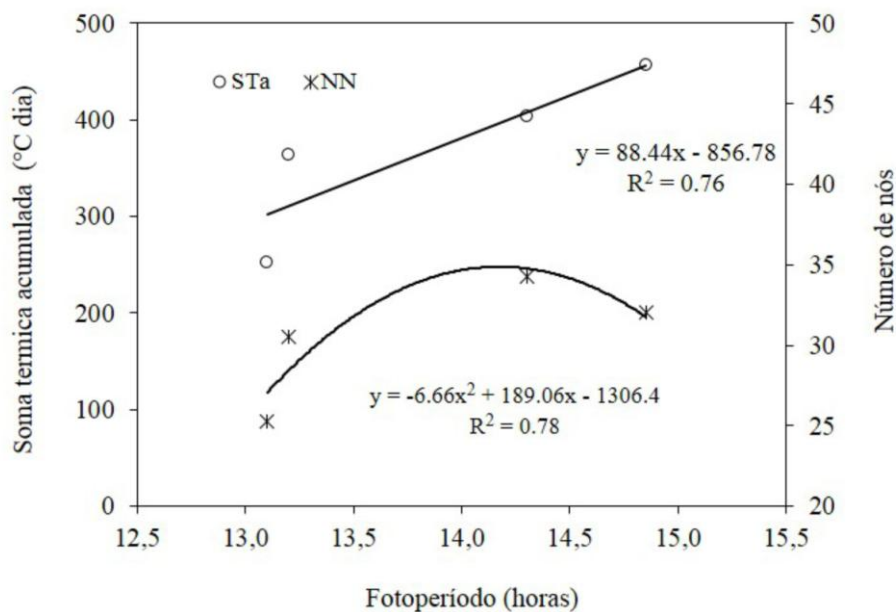


Figura 3 – Relação entre a duração da fase PL-IT em °C dia e o número de nós da haste principal no início de tuberização com o fotoperíodo médio do período nas quatro datas de plantio de batata-doce, cultivar Princesa. Santa Maria, UFSM, 2012.

A produtividade comercial (kg ha^{-1}) de raízes tuberosas, tanto em massa fresca como em massa seca, na primeira data de plantio ($21.500 \text{ kg ha}^{-1}$) foi superior àquelas obtidas na segunda (9.900 kg ha^{-1}) e terceira (7.100 kg ha^{-1}), as quais não diferiram significativamente entre si (Tabela 1). A quarta data de plantio produziu apenas raízes não comerciais, a qual foi

inferior as outras datas de plantio (Tabela 1). A produtividade total (comercial + não-comercial) foi similar à produtividade comercial (Tabela 1). Esses resultados podem ser explicados pela duração do período IT-CO, radiação solar incidente neste período e pela produção de massa seca da parte aérea, que tiveram correlação positiva e elevada ($r = 0,99$) com a produtividade de raízes comerciais pela análise de correlação de Pearson (Tabela 2).

Tabela 1. Produtividade comercial, não-comercial e total (comercial + não-comercial) de raízes tuberosas em massa fresca (MF) e massa seca (MS) e massa seca de parte aérea (MSPA) de batata-doce, cultivar Princesa, em quatro datas de plantio. Santa Maria, UFSM, 2012.

Data de Plantio	Produtividade (kg ha ⁻¹)						MSPA (kg ha ⁻¹)
	Comercial		Não comercial		Total		
	MF	MS	MF	MS	MF	MS	
25/08/2011	21.500 a*	7.600 a	3.700 a	1.300 a	25.200 a	8.900 a	5.400 a
21/11/2011	9.900 b	3.300 b	3.100 a	1.100 a	13.000 b	4.400 b	4.200 ab
03/01/2012	7.100 b	2.100 bc	3.800 a	1.200 a	10.900 b	3.300 b	3.600 b
13/02/2012	0 c	0 c	1.000 b	0.300 b	1.000 c	0.300 c	3.100 b
CV (%)	29		29		26		15

* Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres produtividade de raízes tuberosas em massa fresca (MF) e massa seca (MS) com a duração, em °C dia, das fases plantio - início de tuberização (PL-IT) e início de tuberização - colheita (IT-CO), radiação solar global incidente (RS) durante o IT-CO, número de nós na haste principal no início de tuberização (NN IT) e massa seca parte aérea (MSPA), de batata-doce, cultivar Princesa. Santa Maria, UFSM, 2012.

Variáveis	MF (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)
PL- IT (°C dia)	-0,61 ns	-0,63 ns
IT-CO (°C dia)	0,99 **	1,00 **
RS (MJ m ² dia ⁻¹)	0,99 **	0,99 **
NN IT	-0,76 ns	-0,79 ns
MSPA (kg ha ⁻¹)	0,99 **	0,99 **

ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

A produção da raiz tuberosa é uma função da capacidade de dreno e do potencial da fonte (CONCEIÇÃO *et al.*, 2004). Nesse sentido, a área foliar (fonte) é um fator determinante da produção, pois sob redução desta, ocorre menor absorção de energia radiante e fotossíntese, reduzindo, assim, a produção de biomassa (OLIVEIRA *et al.*, 2010). A produtividade está relacionada com a permanência da área fotossintetizante durante o período de crescimento da parte de interesse comercial (LENIS *et al.*, 2006). Este autor cita que o aumento da longevidade e retenção de folhas de plantas de mandioca apresentou correlação positiva com a produtividade de raízes desta cultura. O mesmo é relatado por Sagrilo *et al.* (2002) em que o bom crescimento da estrutura vegetativa das plantas de mandioca levou ao maior acúmulo de fotoassimilados nas raízes tuberosas, aumentando a sua produtividade. Cecílio Filho e May (2002) também relatam que o aumento da massa seca de parte aérea levou a maior produção de massa seca de raízes de rabanete.

A batata-doce é uma cultura perene, de tuberização contínua sob condições favoráveis, de modo que maior duração do período IT-CO permite maior tempo para a acumulação de fotoassimilados nas raízes. Em trabalhos avaliando a época de colheita dessa cultura, Roesler *et al.* (2008) obtiveram produtividade de 4.250 e 9.140 kg. ha⁻¹ ao efetuar a colheita aos 115 e 183 DAP, respectivamente, em Marechal Cândido Rondon (PR). Queiroga *et al.* (2007) também obtiveram produtividade de raízes comerciais de 17.700, 11.000 e 9.100 kg. ha⁻¹ quando a colheita foi realizada aos 150, 130 e 105 DAP, respectivamente, em Mossoró (RN). Comparando-se a produtividade da cultivar Princesa aos 150 e 200 DAP em Porteirinha (KG), Resende *et al.* (2000) obtiveram aumento na produtividade na ordem de 116% em função de maior período de permanência da cultura no campo.

O atraso na colheita nem sempre garante incremento em produtividade, o resultado depende das condições meteorológicas do período, como a radiação solar, elemento que afeta diretamente a produtividade da batata-doce (CONCEIÇÃO *et al.*, 2004; VILLORDON *et al.*,

2010). No presente estudo, os meses de novembro a fevereiro apresentaram valores mais altos de radiação solar incidente (Figura 1C) e coincidiram com o período de acumulação de amido da primeira data de plantio que iniciou em 3/11. Com maior disponibilidade de radiação solar, as plantas desta data de plantio foram capazes de produzir maior massa seca total, tanto de parte aérea como de raízes tuberosas (Tabela 1). As plantas da segunda e da terceira data de plantio iniciaram a fase de acumulação de amido em 18/01 e 27/02, quando a radiação solar incidente estava em declínio (Figura 1C). As plantas da quarta data de plantio iniciaram a fase de acumulação de amido em 06/04 quando os níveis da radiação solar incidente estavam ainda menores (Figura 1C), o que, aliado ao curto período de acumulação de amido (39 dias) levou a baixa produtividade de raízes. Nesse caso, mesmo que a colheita fosse adiada para além do dia 15 de maio, aumentando assim o período para acumulação de amido nas raízes, a redução da temperatura e da radiação solar incidente a partir dessa data não garantiria incrementos em produtividade. Os plantios tardios de batata-doce em regiões subtropicais como o Rio Grande do Sul podem ter produtividades elevadas de raízes apenas no segundo ciclo de crescimento já que as temperaturas inverniais causam a morte da parte aérea da planta, como aconteceu com as plantas da bordadura neste experimento após uma geada que ocorreu nos dias 07 e 08 de junho de 2012. Segundo Andriolo *et al.* (1998), a disponibilidade de radiação solar é a principal variável determinante do rendimento das plantas cultivadas fora das épocas preferenciais, desde que a temperatura não alcance níveis letais.

O efeito de redução na produtividade com o atraso na data de plantio da batata-doce é melhor descrito pela relação apresentada na Figura 4. Para cada dia de atraso no plantio, houve redução de 120 g de matéria fresca e 43 g de matéria seca de raízes tuberosas. Esta é uma redução grande e uma informação prática importante aos agricultores e extensionistas para maximizar a produtividade de raízes tuberosas de batata-doce em regiões subtropicais. A redução linear indica que quanto maior o atraso no plantio maior será a redução na

produtividade de raízes desta cultivar na região de Santa Maria, situada na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Entretanto, a antecipação do plantio pode ser dificultada pela disponibilidade de mudas, visto que no inverno o crescimento das plantas matrizes é lento ou não ocorre. Nesse caso, as mudas devem ser produzidas a partir de plantas matrizes cultivadas em ambiente protegido para evitar danos causados pelo frio (CASTRO, 2010).

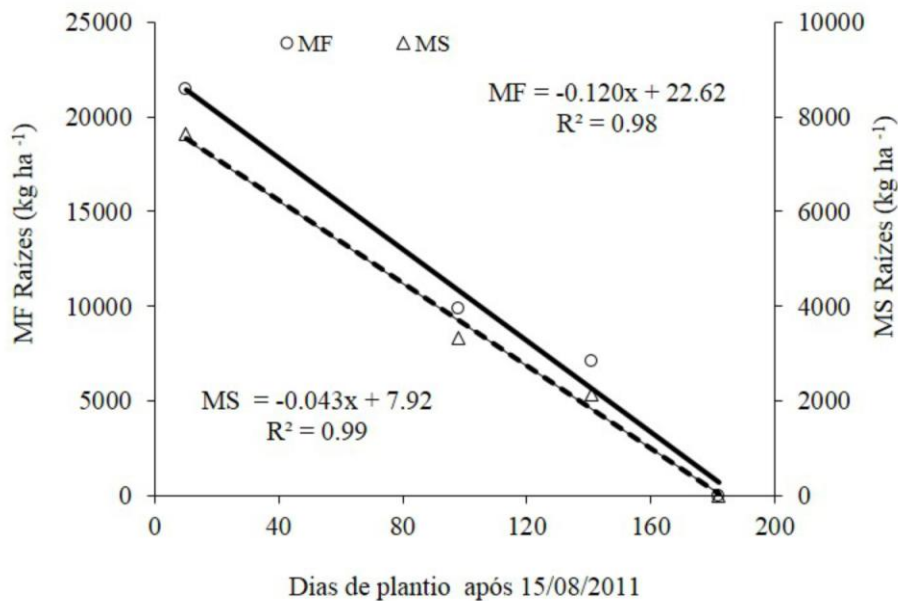


Figura 4. Produtividade de raízes tuberosas comerciais em massa fresca (MF) e massa seca (MS) em função da data de plantio (dias após 15/08/2011) para batata-doce, cultivar Princesa. Santa Maria, UFSM, 2012.

Os resultados deste trabalho confirmam o efeito do fotoperíodo sobre a formação de raízes tuberosas de batata-doce, o qual é determinante do ciclo de desenvolvimento da planta devido ao seu efeito na duração do período PL-IT. Em região subtropical, quando o plantio é realizado logo após o fim do inverno, ocorrerá menor duração dessa fase devido à exposição das plantas a fotoperíodos mais curtos. Isso determina a antecipação e o aumento do período de acumulação de reservas nas raízes, o que coincidirá com os períodos de maior radiação solar incidente e temperaturas adequadas ao crescimento e desenvolvimento da planta, contribuindo para aumentar a produtividade de raízes.

CONCLUSÕES

O início de tuberização da batata-doce varia com a data de plantio indicando que fotoperíodos curtos aceleram sua ocorrência.

Em regiões subtropicais, a produtividade é maior quando o plantio é realizado no final do inverno em decorrência da maior duração da fase IT-CO, que coincide com os períodos de alta radiação solar incidente e temperaturas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da batata-doce.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, J.L. *et al.* Growth, development and dry matter distribution of a tomato crop as affected by environment. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.73, p.125-130, 1998.
- ARNOLD, C.Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. **Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences**, v.76, p.682-692, 1960.
- BONSI, C. K. *et al.* Temperature and light effects of sweet potatoes grown hydroponically. **Acta Horticulturae**, v. 361, p.527-529, 1994.
- CASTRO, L.A.S. **Instruções para plantio de mudas de batata-doce com alta sanidade**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 19 p. (Documentos, 313).
- CECÍLIO FILHO, A. B.; MAY, A. Produtividade das culturas de alface e rabanete em função da época de estabelecimento do consórcio. **Horticultura Brasileira**, v.20, p.501-504, 2002.
- CONCEIÇÃO, M. *et al.* Partição de matéria seca entre órgão de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), cultivares Abóbora e Da Costa. **Revista Brasileira Agrocência**, v.10, p.313-316, 2004.
- FILGUEIRA, F.A. R. **Novo manual de olericultura**. Viçosa: UFV, 2000.402p.

- KEISLING, T.C. Calculation of the length of the day. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 758 – 759, 1982.
- LENIS, J. I. *et al.* Leaf retention and cassava productivity. **Field Crops Research**, v.95, p.126-134, 2006.
- MCDAVID, C. R.; ALAMU, S. Effect of day length on the growth and development of whole plants and rooted leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Journal Tropical Agriculture**, v.57, p.113-119, 1980.
- MEDEIROS, J. G. *et al.* Análise de crescimento em duas cultivares de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.2, p.23-29, 1990.
- MIRANDA, J. E. C. Princesa: **Cultivar de Batata-Doce Resistente ao "Mal-do-Pé"**. Brasília, EMBRAPA-CNPH, 1989. EMBRAPA-CNPH, Folder. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/cultivares/princesa.htm>. Acesso em 11 de julho de 2012.
- MORTLEY, D.G. *et al.* Influence of daily light period and irradiance on yield and leaf elemental concentration of hydroponically grown sweet potato. **HortScience**, v.44, p.1491-1493, 2009.
- OLIVEIRA, S. P. *et al.* Efeito da poda e de épocas de colheita sobre características agronômicas da mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.32, p.99-108, 2010.
- ONWUEME, I. C.; CHARLES, W. B. **Tropical Root and Tuber Crops. Production, perspectives and future prospects**. Rome: FAO, 1994.115p.
- QUEIROGA, R. C. F. *et al.* Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.371-374, 2007.
- RAVI, V. *et al.* Molecular physiology of storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). **Journal of Root Crops**, v. 35, p. 1-27, 2009.
- RESENDE, G. M. *et al.* Características produtivas de cultivares de batata-doce em duas épocas de colheita, em Porteirinha – KG. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.68-71, 2000.

- ROESLER, P. V. S. O. *et al.* Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata-doce no oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, p.117-122, 2008.
- SAGRILO, E. *et al.* Efeito da época de colheita no crescimento vegetativo, na produtividade e na qualidade de raízes de três cultivares de mandioca. **Bragantia**, v.61, p.115-125, 2002.
- SILVA, J. B. C; LOPES, C, A. 1995. **Cultivo de batata-doce** [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 18 p. (Instruções Técnicas - CNPQ,7).
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.
- SOMASUNDARAM, K.; MITHRA, V.S. MADHURAM: A simulation model for sweet potato growth. **World Journal of Agricultural Sciences**, v.4, p.241–254, 2008.
- SPENCE, J. A.; HUMPHRIES, E. C. Effects of moisture supply, temperature and growth regulators on photosynthesis of isolated root leaves of sweet potato *Ipomoea batatas*. **Annals of Botany**, v.36, p.115–121, 1972.
- SRISUWAN, S. *et al.* The origin and evolution of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) and its wild relatives through the cytogenetic approaches. **Plant Science**, v.171, p. 424-433, 2006.
- STRECK, E.V *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 126 p.
- VILLAVICENCIO, L. E. *et al.* Temperature effect on skin adhesion, cell wall enzyme activity, lignin content, anthocyanins, growth parameters, and periderm histochemistry of sweet potato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.132, n.5, p.729–738, 2007.
- VILLORDON, A. *et al.* Development of a simple thermal time method for describing the onset of morpho-anatomical features related to sweet potato storage root formation. **Scientia Horticulturae**, v.121, p.374–377, 2009.

VILLORDON, A. *et al.* Development of a prototype bayesian network model representing the relationship between fresh market yield and some agroclimatic variables known to influence storage root initiation in sweet potato. **HortScience**, v. 45, p.1167-1177, 2010.

5 DISCUSSÃO

Os modelos de simulação de culturas agrícolas são ferramentas que tem várias aplicações, entre elas auxiliar em práticas de manejo, calendários de plantio e de colheita quando o cultivo é feito em diferentes anos, épocas ou locais. Esta ferramenta também tem sido muito utilizada em estudos do impacto da mudança climática no ciclo de desenvolvimento e acumulação de biomassa das culturas agrícolas. Em tais modelos, a simulação do desenvolvimento vegetativo é uma parte importante. O cálculo da emissão de nós está diretamente relacionado com a evolução do índice de área foliar, responsável pela fotossíntese e produtividade da cultura. Nesse sentido, a comparação do desempenho de modelos lineares (plastocrono) e não lineares (Wang e Eengel) de simulação da emissão de nós da batata-doce, bem como a forma de entrada da temperatura do ar em cada modelo, é importante, pois permite a seleção do modelo mais adequado para o estudo da simulação do desenvolvimento vegetativo. Além disso, para a calibração dos modelos é necessário o conhecimento das temperaturas cardinais que governam a emissão de nós em batata-doce.

O teste com diferentes temperaturas mostrou que as temperaturas de 12, 30 e 40 °C podem ser consideradas as temperaturas cardinais para a emissão de nós em batata-doce. O uso da temperatura média diária do ar como dado de entrada dos modelos mostrou-se melhor que o uso da temperatura mínima e máxima diária do ar em ambos os casos. Na comparação do plastocrono (linear) com o modelo de Wang e Engel (não linear) obteve-se desempenho semelhante. Esses resultados se somam a resultados anteriores que relatam similar performance dos dois modelos na cultura do arroz (STRECK et al., 2011) e na cultura do melão (STRECK et al., 2006), embora muitos trabalhos encontrados na literatura citam o modelo de Wang e Engel como superior à soma térmica em culturas como kiwi (STRECK, 2003b), trigo (XUE et al., 2004), batata (STRECK et al., 2007) e milho (STRECK et al., 2008). A preferência pelo uso do modelo de Wang e Engel é atribuída a algumas características desse modelo como (STRECK et al., 2003a; STRECK, 2003b; STRECK et al., 2011): uso de uma função não linear para descrever a resposta do desenvolvimento da cultura à temperatura; os efeitos do ambiente sobre a TAN ocorre de forma multiplicativa; os coeficientes do modelo, TANmax e as temperaturas cardinais (T_b , T_{ot} e T_B), tem significado biológico e definição operacional. Essas características tornam o modelo WE mais realístico

do ponto de vista biológico, o que aumentam as chances do modelo funcionar bem em condições ambientais diferentes daquelas em que foi calibrado.

No presente trabalho, o similar desempenho dos dois modelos ocorreu, pois a temperatura do ar, em geral, situou-se na faixa intermediária entre a temperatura base e a ótima, faixa em que a resposta da planta à temperatura é linear. No entanto, em regiões mais quentes, como as regiões Norte e Nordeste do Brasil, onde ocorre intenso cultivo da batata-doce ou em cenários climáticos futuros, em que a temperatura do ar é esperada ser acima da atual, a planta será exposta a temperaturas acima da ótima com mais frequência. Nessa faixa a diferença entre os dois modelos é mais pronunciada e o modelo de WE é mais apropriado para representar o desenvolvimento vegetativo da batata-doce.

Na batata-doce, a produção de raízes tuberosas está vinculada ao acúmulo de biomassa nas raízes da planta. Início de tuberização precoce, alta taxa e maior período de acúmulo de biomassa nas raízes contribuem para aumentar a produtividade da cultura. No RS, onde o plantio da batata-doce pode ser realizado do final do inverno ao final da primavera, há uma variação de elementos meteorológicos condicionantes da produtividade, sendo importante determinar datas de plantio que potencializem o uso desses elementos.

Os resultados do Capítulo 2 evidenciam que fotoperíodos mais curtos favorecem o início de tuberização da batata-doce. Dessa forma, quando o plantio é realizado logo após o final do inverno ocorrerá menor duração da fase plantio-início de tuberização, garantindo a antecipação do período de acumulação de amido nas raízes. Plantios realizados a partir de fevereiro, quando o fotoperíodo encontra-se em declínio também tem redução dessa fase, no entanto o período de enchimento de raízes será curto, visto que as temperaturas negativas a partir do mês de junho paralisam o crescimento da planta. Além de garantir maior duração da fase de acumulação de amido, os plantios realizados mais cedo fazem com que essa fase coincida com os períodos de maior radiação solar incidente e temperaturas adequadas ao crescimento da batata-doce, contribuindo para elevar a produtividade.

6 CONCLUSÕES

1. Melhor predição do número de nós em batata-doce é obtida com o uso das temperaturas cardinais 12, 30 e 40 °C. A versão que usa a temperatura média é superior à versão que usa a temperatura mínima e máxima diária do ar como dados de entrada. Os modelos plastocrono e Wang e Engel apresentam desempenho semelhante e ambos podem ser utilizados para simular o desenvolvimento vegetativo da batata-doce quando cultivada na época recomendada. Fora desse período sugere-se usar o modelo de Wang e Engel.
2. As condições de temperatura e fotoperíodo modificaram o início de tuberização em cada data de plantio, indicando que fotoperíodos curtos aceleram sua ocorrência. A produtividade de raízes tuberosas foi maior quando o plantio foi realizado no final do inverno, em decorrência da maior duração da fase de acumulação de amido, que coincidiu com os períodos de alta radiação solar incidente e temperaturas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da batata-doce.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMTHOR, J. S. Efficiency of lignin biosynthesis: a quantitative analysis. **Annals of Botany**, v. 91, p. 673-695, 2003.
- ANDRADE, J. V. C. et al. Selection of sweet potato clones for the region Alto Vale do Jequitinhonha. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 389-393, 2009.
- BAKER, J. T.; REDDY, V. R. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. **Annals of Botany**, v. 87, p. 605-613, 2001.
- CARDOSO, A. D. et al. Características físicas e sensoriais de clones de batata-doce. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1760-1765, 2007.
- CARVALHO, I. S. et al. Effect of photoperiod on flavonoid pathway activity in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) leaves. **Food Chemistry**, v. 118, p. 384–390, 2010.
- CASTRO, L. A. S et al. **Acessos de batata-doce do banco ativo de germoplasma da Embrapa Clima Temperado, com potencial de produção de biocombustível**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 26p. (Documentos, 258).
- CASTRO, L. A. S. **Instruções para plantio de mudas de batata-doce com alta sanidade**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 19 p. (Documentos, 313).
- CEN, Y. P.; SAGE, R. F. The regulation of Rubisco activity in response to variation in temperature and atmospheric CO₂ partial pressure in sweet potato. **Plant Physiology**, v. 139, p. 979-990, 2005.
- CHUKWU, G. O. Crop irrigation water needs of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **African Journal of Root and Tuber Crops**, v. 1, p. 35-38, 1995.
- CONCEIÇÃO M. et al. Partição de matéria seca entre órgão de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), cultivares Abóbora e Da Costa. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 10, p. 313-316, 2004.
- ECHER, F. R. et al. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 176-182, 2009.

EDMOND, J. B.; AMMERMAN, G. R. **Sweet potatoes: production processing marketing**. Wesport: The Air Publishing Company, 1971. 58 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAOSTAT. **Production crops**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

HODGES, T. F. **Predicting crop phenology**. Boca Raton: CRC, 1991. 233p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Lavoura temporária**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

KIM, Y.C. Effects of thermoperiodism on tuber formation in *Ipomoea batatas* under controlled conditions. **Plant Physiology**, v.36, p.680-684, 1961.

LOEBENSTEIN, G.; THOTTAPPILY, G. **The sweetpotato**. Springer, 2009. 522p.

LORETAN, P. A. et al. Effects of several environmental factors on sweet potato growth. **Advances in Space Research**, v. 14, p. 277-280, 1994.

MCDAVID, C. R.; ALAMU, S. Effect of day length on the growth and development of whole plants and rooted leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Journal Tropical Agriculture**, v. 57, p. 113-119, 1980.

MEDEIROS, J. G. et al. Análise de crescimento em duas cultivares de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 2, p. 23-29, 1990.

MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, A. O. **Batata-doce (Ipomoea Batatas (L) Lam.)**. Brasília: EMBRAPA/CNPH, 1989. 19 p.

MORTLEY, D. G. et al. Influence of daily light period and irradiance on yield and leaf elemental concentration of hydroponically grown sweetpotato. **HortScience**, v. 44, p. 1491-1493, 2009.

NOH, S. A. et al. Growth retardation and differential regulation of expansin genes in chilling-stressed sweetpotato. **Plant Biotechnol Reports**, v. 3, p. 75–85, 2009.

NUNES, M. U. C. et al. **Produtividade de clones e cultivares de batata-doce com diferentes colorações de polpa em sistema de produção orgânico em Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 16p. (Boletim de Pesquisa, 52).

ONWUEME, I. C.; CHARLES, W. B. **Tropical Root and Tuber Crops: Production, perspectives and future prospects**. Rome: FAO, 1994. 115p.

PORTER, W. C. Sweetpotato growth as affected by photoperiod. **HortScience**, v. 14, p. 124, 1979.

QUEIROGA, R. C. F. et al. Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 371-374, 2007.

RAVI, V. et al. Molecular Physiology of Storage Root Formation and Development in Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). **Journal of Root Crops**, v. 35, n. 1, p. 1-27, 2009.

RESENDE, G. M. et al. Características produtivas de cultivares de batata-doce em duas épocas de colheita, em Porteirinha – MG. **Horticultura Brasileira**, v.18, p. 68-71, 2000.

ROSA, H. T. et al. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 44, n. 11, p.1374-1382, 2009.

SILVA, S. O. et al. Efeito da multiplicação vegetativa in vitro na produtividade da batata-doce (*Ipomoea batatas* L. Lam.). **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 47-52, 1991.

SILVA, J. B. C; LOPES, C. A. **Cultivo de batata - doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]**. Brasília: EMBRAPA-CNPB, 1995.18 p. (Instruções Técnicas - CNPB, 7).

SILVA, J. B. C. et al. Cultura da batata doce. In: Sistemas de produção. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2004. Disponível em:
<<http://www.cnpb.embrapa.br/sistprod/batatadoce/index.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

SINCLAIR, T. R. et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 88, p. 171-178, 2004.

SOMASUNDARAM, K.; MITHRA, V. S. MADHURAM: A simulation model for sweet potato growth. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, p. 241–254, 2008.

SRISUWAN, S. et al. The origin and evolution of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) and its wild relatives through the cytogenetic approaches. **Plant Science**, v. 171, p. 424-433, 2006.

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

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

STRECK, N. A. *et al.* A nonlinear model to simulate node appearance in muskmelon (*Cucumis melo* L.) grown inside plastic greenhouse as a function of air temperature. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, p. 210-216, 2006.

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

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

STRECK, N. A. *et al.* Modeling the development of cultivated rice and weedy red rice. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 54, p. 371-384, 2011.

VILLAVICENCIO, L E. et al. Temperature effect on skin adhesion, cell wall enzyme activity, lignin content, anthocyanins, growth parameters, and periderm histochemistry of sweetpotato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 132, n. 5, p. 729–738, 2007.

VILLORDON, A. et al. Development of a simple thermal time method for describing the onset of morpho-anatomical features related to sweetpotato storage root formation. **Scientia Horticulturae**, v. 121, p. 374–377, 2009a.

VILLORDON, A. et al. Characterization of adventitious root development in sweetpotato. **HortScience**, v. 44, p. 651–655, 2009b.

VILLORDON, A. et al. Development of a Prototype Bayesian Network Model Representing the Relationship between Fresh Market Yield and Some Agroclimatic Variables Known to Influence Storage Root Initiation in Sweetpotato. **HortScience**, v. 45, p. 1167–1177, 2010.

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

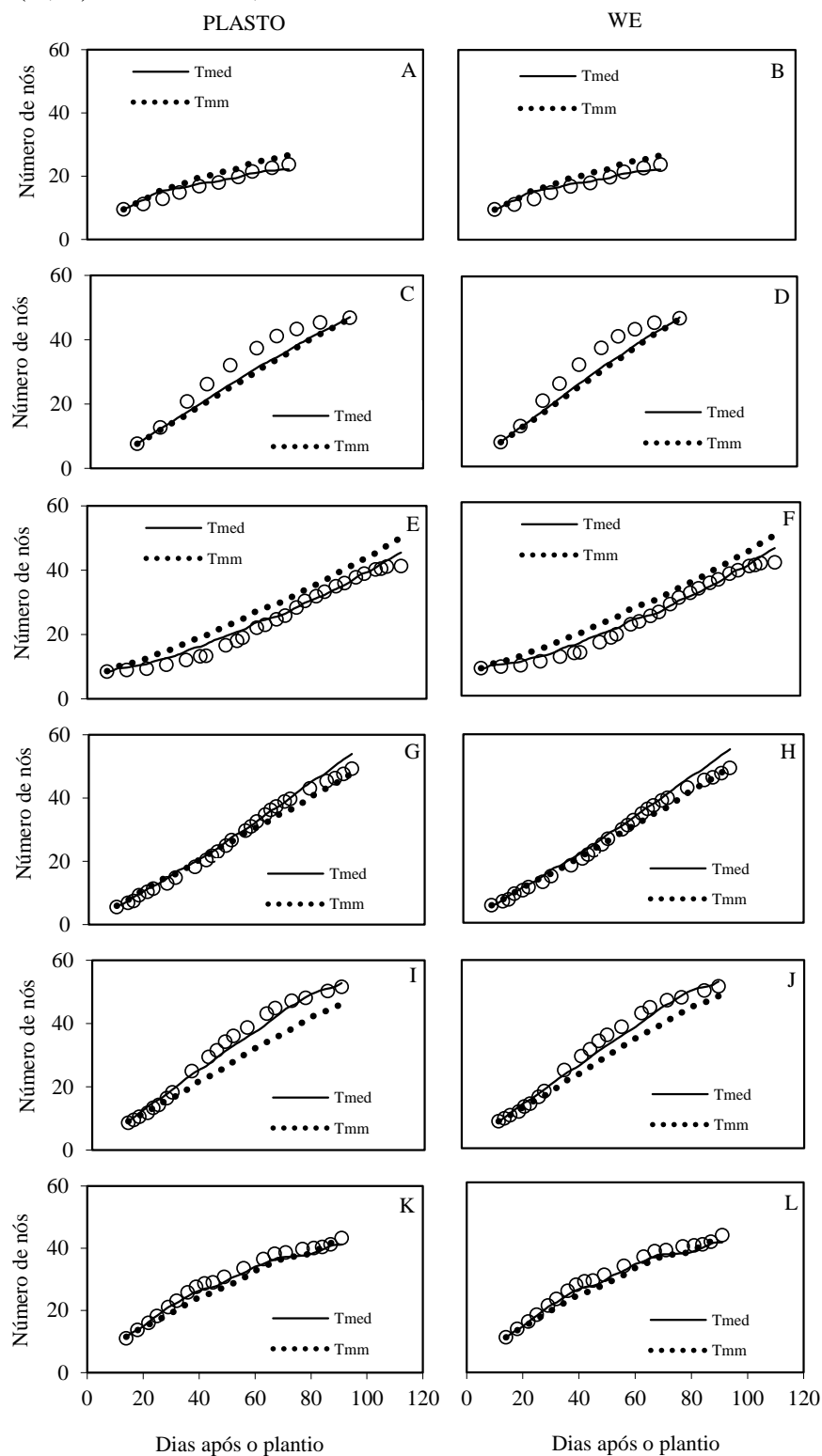
WILHELM, W. W.; McMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, v. 35, n. 1, p. 1-3, 1995.

XUE, Q. et al. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modeling**, v. 175, p. 261-270, 2004.

YAN, W. K.; HUNT, L. A. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. **Annals of Botany**, v. 84, p. 607-614, 1999.

ANEXOS

Anexo A - Evolução do número de nós observados (círculo vazado) e simulados pelos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE) com as temperaturas 12°C, 30°C e 40°C, na versão Tmed (linha contínua) e Tmm (linha pontilhada) na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio1 (A,B), 3 (C, D), 4(E, F), 5(G, H), 6(I, J) e 7 (K, L). Santa Maria, 2012.



Anexo B - Valores dos coeficientes PLAST ($^{\circ}\text{C dia n}^{\circ -1}$) e TANmáx (nós dia $^{-1}$) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais (Tb de 10, 11, 12, 13, 14 e 15 $^{\circ}\text{C}$, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32 $^{\circ}\text{C}$ e TB de 41 $^{\circ}\text{C}$) em duas versões (Tmed e Tmm) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE). Santa Maria, 2012.

Temperaturas cardinais			PLASTO				WE			
Tb	Tot	TB	Tméd		Tmm		Tméd		Tmm	
			PLAST	RQME	PLAST	RQME	TANmáx	RQME	TANmáx	RQME
10	28	41	26,80	2,8	20,70	5,8	0,617	4,3	0,718	4,8
10	29	41	27,30	2,7	21,90	4,8	0,640	3,4	0,743	4,3
10	30	41	27,30	2,6	23,20	4,5	0,676	2,7	0,778	3,8
10	31	41	27,30	2,6	24,40	4,1	0,730	2,5	0,826	3,4
10	32	41	27,30	2,6	25,30	4,0	0,812	2,4	0,892	2,9
11	28	41	25,10	2,5	19,00	5,0	0,618	4,0	0,725	4,6
11	29	41	25,50	2,3	20,30	4,5	0,643	3,2	0,752	4,1
11	30	41	25,60	2,3	21,60	4,2	0,680	2,5	0,787	3,7
11	31	41	25,60	2,3	22,70	3,9	0,735	2,4	0,837	3,2
11	32	41	25,60	2,3	23,70	3,7	0,818	2,4	0,903	2,9
12	28	41	23,40	2,3	17,50	4,7	0,620	3,7	0,735	4,4
12	29	41	23,80	2,1	18,80	4,3	0,646	2,9	0,762	3,9
12	30	41	23,80	2,1	20,10	4,0	0,684	2,3	0,799	3,7
12	31	41	23,80	2,1	21,10	4,9	0,742	2,3	0,849	3,3
12	32	41	23,80	2,1	22,00	3,5	0,827	2,5	0,917	2,9
13	28	41	21,70	2,2	16,00	4,5	0,623	3,3	0,746	4,1
13	29	41	22,10	2,1	17,20	4,1	0,650	2,6	0,774	3,7
13	30	41	22,10	2,1	18,40	3,8	0,690	2,2	0,815	3,7
13	31	41	22,10	2,1	19,50	3,6	0,775	2,5	0,896	3,0
13	32	41	22,10	2,1	19,50	3,6	0,838	2,8	0,933	3,0
14	28	41	20,00	2,4	14,50	4,4	0,626	2,9	0,759	3,9
14	29	41	20,30	2,3	15,70	3,9	0,654	2,4	0,788	3,6
14	30	41	20,40	2,3	16,90	3,8	0,696	2,3	0,827	3,4
14	31	41	20,40	2,3	17,9	3,5	0,758	2,5	0,880	2,9
14	32	41	20,40	2,3	18,70	3,4	0,851	3,1	0,951	2,8
15	28	41	18,20	2,8	13,00	4,2	0,631	2,6	0,776	3,8
15	29	41	18,70	2,8	14,20	3,9	0,661	2,3	0,807	3,6
15	30	41	18,70	2,8	15,30	3,7	0,704	2,4	0,847	3,2
15	31	41	18,70	2,8	16,30	3,5	0,769	2,8	0,901	2,9
15	32	41	18,70	2,8	17,10	3,3	0,866	3,6	0,972	2,6

Anexo C - Valores dos coeficientes PLAST ($^{\circ}\text{C dia n}^{\circ -1}$) e TANmáx (nós dia $^{-1}$) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais (Tb de 10, 11, 12, 13, 14 e 15 $^{\circ}\text{C}$, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32 $^{\circ}\text{C}$ e TB de 42 $^{\circ}\text{C}$) em duas versões (Tmed e Tmm) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE). Santa Maria, 2012.

Temperaturas cardinais			PLASTO				WE			
Tb	Tot	TB	Tméd		Tmm		Tméd		Tmm	
			PLAST	RQME	PLAST	RQME	TANmáx	RQME	TANmáx	RQME
10	28	42	26,80	2,8	20,80	5,1	0,613	4,6	0,705	4,8
10	29	42	27,20	2,7	22,10	4,7	0,634	3,8	0,727	4,4
10	30	42	27,30	2,6	23,40	4,4	0,665	3,0	0,758	3,9
10	31	42	27,30	2,6	24,50	4,0	0,711	2,6	0,801	3,5
10	32	42	27,30	2,6	25,40	3,9	0,778	2,8	0,858	3,0
11	28	42	25,10	2,5	19,20	4,8	0,614	4,2	0,712	4,6
11	29	42	25,50	2,4	20,60	4,4	0,637	3,5	0,736	4,2
11	30	42	25,60	2,3	21,80	4,1	0,669	2,7	0,761	3,7
11	31	42	25,60	2,3	22,90	3,8	0,716	2,4	0,811	3,3
11	32	42	25,60	2,3	23,80	3,5	0,785	2,4	0,869	2,9
12	28	42	23,40	2,3	17,70	4,5	0,617	4,0	0,721	4,3
12	29	42	23,80	2,1	19,00	4,2	0,640	3,2	0,746	4,0
12	30	42	23,80	2,1	20,20	3,9	0,673	2,6	0,779	3,7
12	31	42	23,80	2,1	21,30	3,6	0,722	2,3	0,823	3,2
12	32	42	23,80	2,1	22,10	3,3	0,794	2,5	0,883	2,8
13	28	42	21,70	2,2	16,20	4,3	0,619	3,6	0,732	4,1
13	29	42	22,10	2,1	17,40	4,0	0,643	2,9	0,757	3,8
13	30	42	22,10	2,1	18,60	3,7	0,678	2,3	0,792	3,4
13	31	42	22,10	2,1	19,60	3,5	0,729	2,5	0,837	3,1
13	32	42	22,10	2,1	20,40	3,2	0,803	2,4	0,898	2,7
14	28	42	20,00	2,4	14,70	4,1	0,623	3,1	0,745	3,9
14	29	42	20,30	2,3	15,90	3,8	0,648	2,6	0,771	3,6
14	30	42	20,40	2,3	17,00	3,6	0,684	2,4	0,806	3,3
14	31	42	20,40	2,3	18,00	3,4	0,738	2,4	0,853	2,9
14	32	42	20,40	2,3	18,80	3,1	0,815	2,7	0,916	2,6
15	28	42	18,30	2,8	13,20	4,0	0,626	2,7	0,761	3,7
15	29	42	18,60	2,8	14,40	3,7	0,653	2,5	0,789	3,5
15	30	42	18,70	2,8	15,50	3,6	0,691	2,9	0,825	3,1
15	31	42	18,70	2,8	16,40	3,3	0,747	2,9	0,874	3,0
15	32	42	18,70	2,8	17,20	3,1	0,829	3,1	0,937	2,5

Anexo D - Valores dos coeficientes PLAST ($^{\circ}\text{C dia n}^{\circ -1}$) e TANmáx (nós dia $^{-1}$) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais (Tb de 10, 11, 12, 13, 14 e 15 $^{\circ}\text{C}$, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32 $^{\circ}\text{C}$ e TB de 43 $^{\circ}\text{C}$) em duas versões (Tmed e Tmm) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE). Santa Maria, 2012.

Temperaturas cardinais			PLASTO				WE			
Tb	Tot	TB	Tméd		Tmm		Tméd		Tmm	
			PLAST	RQME	PLAST	RQME	TANmáx	RQME	TANmáx	RQME
10	28	43	26,90	2,8	21,00	5,0	0,610	4,8	0,694	4,9
10	29	43	27,20	2,7	22,30	4,6	0,621	4,1	0,714	4,4
10	30	43	27,30	2,6	23,60	4,3	0,656	3,4	0,743	4,0
10	31	43	27,30	2,6	24,70	3,9	0,695	2,8	0,780	3,6
10	32	43	27,30	2,6	25,60	3,8	0,753	2,9	0,831	3,1
11	28	43	25,10	2,5	19,50	4,7	0,612	4,4	0,701	4,6
11	29	43	25,50	2,4	20,80	4,3	0,631	3,8	0,722	4,1
11	30	43	25,60	2,3	21,80	4,0	0,660	2,9	0,752	3,8
11	31	43	25,60	2,3	23,00	3,7	0,700	2,6	0,790	3,4
11	32	43	25,60	2,3	23,90	3,4	0,759	2,4	0,842	3,0
12	28	43	23,40	2,3	18,00	4,4	0,614	4,2	0,710	4,3
12	29	43	23,80	2,1	19,20	4,1	0,634	3,5	0,732	4,1
12	30	43	23,80	2,1	20,40	3,8	0,664	2,7	0,762	3,7
12	31	43	23,80	2,1	21,40	3,5	0,706	2,4	0,801	3,3
12	32	43	23,80	2,1	22,20	3,2	0,768	2,5	0,854	2,8
13	28	43	21,70	2,2	16,40	4,3	0,616	3,8	0,721	4,0
13	29	43	22,10	2,1	17,60	3,9	0,637	3,0	0,743	3,8
13	30	43	22,12	2,1	18,80	3,7	0,669	2,6	0,775	3,4
13	31	43	22,10	2,1	19,80	3,4	0,712	2,4	0,815	3,2
13	32	43	22,10	2,1	20,60	3,1	0,776	2,6	0,869	2,7
14	28	43	20,00	2,4	14,90	4,0	0,619	3,4	0,733	3,8
14	29	43	20,30	2,3	16,10	3,7	0,641	2,8	0,756	3,5
14	30	43	20,40	2,3	17,20	3,5	0,674	2,4	0,789	3,3
14	31	43	20,40	2,3	18,10	3,3	0,720	2,5	0,831	3,0
14	32	43	20,40	2,3	18,90	3,0	0,787	2,5	0,887	2,8
15	28	43	18,30	2,8	13,40	3,9	0,623	2,9	0,748	3,7
15	29	43	18,60	2,8	14,50	3,6	0,646	2,6	0,773	3,4
15	30	43	18,70	2,8	15,60	3,5	0,681	2,8	0,817	3,2
15	31	43	18,70	2,8	16,50	3,2	0,730	2,8	0,851	2,9
15	32	43	18,70	2,8	17,30	3,0	0,800	2,9	0,908	2,6

Anexo E - Valores dos coeficientes PLAST ($^{\circ}\text{C dia n}^{\circ -1}$) e TANmáx (nós dia $^{-1}$) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação do número de nós na haste principal da planta de batata-doce, cultivar Princesa, nas épocas de plantio usadas como dados independentes com diferentes combinações de temperaturas cardinais (Tb de 10, 11, 12, 13, 14 e 15 $^{\circ}\text{C}$, Tot de 28, 29, 30, 31 e 32 $^{\circ}\text{C}$ e TB de 44 $^{\circ}\text{C}$) em duas versões (Tmed e Tmm) dos modelos do plastocrono (PLASTO) e de Wang e Engel (WE). Santa Maria, 2012.

Temperaturas cardinais			PLASTO				WE			
Tb	Tot	TB	Tmed		Tmm		Tmed		Tmm	
			PLAST	RQME	PLAST	RQME	TANmáx	RQME	TANmáx	RQME
10	28	44	26,90	2,8	21,30	4,9	0,607	5,1	0,685	5,0
10	29	44	27,20	2,6	22,50	4,4	0,625	4,4	0,704	4,5
10	30	44	27,30	2,6	23,80	4,1	0,649	3,7	0,729	4,1
10	31	44	27,30	2,6	24,80	3,8	0,684	3,0	0,763	3,7
10	32	44	27,30	2,6	25,70	3,6	0,733	3,0	0,808	3,2
11	28	44	25,20	2,5	19,70	4,6	0,608	4,8	0,692	4,7
11	29	44	25,50	2,4	20,90	4,2	0,627	4,1	0,712	4,3
11	30	44	25,60	2,3	22,10	3,8	0,652	3,3	0,738	3,9
11	31	44	25,60	2,3	23,20	3,6	0,689	2,8	0,773	3,5
11	32	44	25,60	2,3	24,00	3,3	0,739	2,4	0,818	3,1
12	28	44	23,70	2,3	18,40	4,3	0,610	4,4	0,700	4,4
12	29	44	23,80	2,3	19,40	3,9	0,629	3,7	0,721	4,1
12	30	44	24,00	2,1	20,60	3,7	0,656	3,1	0,748	3,7
12	31	44	24,00	2,1	21,50	3,4	0,694	2,5	0,784	3,3
12	32	44	24,00	2,1	22,50	3,2	0,746	2,4	0,831	2,9
13	28	44	21,80	2,2	16,60	4,1	0,613	4,0	0,711	4,0
13	29	44	22,10	2,1	17,80	3,7	0,632	3,3	0,732	3,8
13	30	44	22,10	2,1	18,90	3,6	0,660	2,7	0,760	3,5
13	31	44	22,10	2,1	19,90	3,2	0,700	2,4	0,797	3,2
13	32	44	22,10	2,1	20,60	3,1	0,754	2,7	0,845	2,8
14	28	44	20,20	2,5	15,20	3,9	0,616	3,6	0,722	3,8
14	29	44	20,30	2,3	16,20	3,6	0,637	2,9	0,745	3,5
14	30	44	20,40	2,3	17,50	3,4	0,666	2,5	0,774	3,3
14	31	44	20,40	2,3	18,20	3,2	0,707	2,6	0,813	3,0
14	32	44	20,40	2,3	19,00	3,0	0,765	2,5	0,863	2,9
15	28	44	18,30	2,8	13,60	3,7	0,620	3,0	0,738	3,7
15	29	44	18,60	2,8	14,70	3,5	0,641	2,6	0,762	3,4
15	30	44	18,70	2,8	15,70	3,3	0,672	2,8	0,792	3,2
15	31	44	18,70	2,8	16,60	3,1	0,716	2,7	0,832	2,9
15	32	44	18,70	2,8	17,30	2,9	0,776	2,7	0,883	2,7