

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

**MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO DA BATATA
(*Solanum tuberosum* L.) À CAMPO.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FABIANA LUIZA MATIELO DE PAULA

Santa Maria, RS, Brasil

2005



UFSM

Dissertação de Mestrado

**MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO DA BATATA
(*Solanum tuberosum* L.) À CAMPO**

Fabiana Luiza Matielo de Paula

PPGA

Santa Maria, RS, Brasil

2005

MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO DA BATATA
(*Solanum tuberosum* L.) À CAMPO

por

Fabiana Luiza Matielo de Paula

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

2005

**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 DA BATATA (*Solanum
tuberosum* L.) À CAMPO**

Elaborada por

Fabiana Luiza Matielo de Paula

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Nereu Augusto Streck, Ph.D.
(Presidente Orientador)

Dilson Antônio Bisognin, Ph.D. (UFSM)

Carlos Rogério Mauch, Dr. (UFPel)

Santa Maria, 14 de janeiro de 2005

**“Celebrar a vida é somar amigos,
experiências e conquistas, dando-lhes
sempre algum significado”**

A Deus pela vida, a meus Pais Antônio Valentim Matielo e Maria Ignês Moreno Matielo, aos meus irmãos, ao meu esposo Adalberto Luiz de Paula e minha filha Maria Eduarda Matielo de Paula.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade da realização do mestrado.

Ao professor Nereu Augusto Streck, pela orientação, amizade e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos professores Dilson A. Bisognin e Arno B. Heldwein pela co-orientação, amizade e pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia, pela atenção e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia pela ajuda na condução dos experimentos e pela amizade.

Ao meu esposo Adalberto Luiz de Paula pela ajuda e compreensão nas horas mais difíceis, durante a condução do experimento e elaboração da dissertação.

A minha filha Maria Eduarda Matielo de Paula, pelo amor e carinho

Aos amigos Jacso Dellai e Isabel Lago pela ajuda durante o mestrado e pela amizade.

À minha família pelo amor, compreensão e apoio em todos os momentos.

E a todos os amigos da Fitotecnia pela amizade, descontração e esclarecimentos das dúvidas durante o trabalho.

Obrigada !

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE APÊNDICE	XIII
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO I Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (<i>Solanum tuberosum</i> L.).....	3
RESUMO.....	3
ABSTRACT.....	4
INTRODUÇÃO.....	4
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
CONCLUSÃO.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
CAPÍTULO II Simulação do desenvolvimento da batata (<i>Solanum tuberosum</i> L.) à campo.....	21
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	22
INTRODUÇÃO.....	22
MATERIAL E MÉTODOS.....	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS	41

RESUMO

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

MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) À CAMPO

AUTORA: Fabiana Luiza Matielo de Paula
ORIENTADOR: Nereu Augusto Streck
Local e data da Defesa: Santa Maria, 14 janeiro de 2005

A batata (*Solanum tuberosum* L.) família Solanaceae, é originária da Cordilheira dos Andes e ocupa o quarto lugar em volume de produção mundial de alimentos, sendo superada apenas pelo trigo, arroz e milho. A produção da batata no Brasil concentra-se nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. A soma térmica é um método simples e é uma melhor medida de tempo biológico do que dias do calendário civil ou dias após a semeadura, mas tem recebido críticas, uma delas, por assumir uma relação linear entre crescimento ou desenvolvimento vegetal e temperatura. O trabalho teve como objetivos: determinar a soma térmica das fases de emergência ao início da tuberização, início da tuberização ao início da senescência e início da senescência à colheita da batata cultivar Asterix cultivada a campo; construir e avaliar um modelo matemático para simular o desenvolvimento da cultura da batata, que seja superior aos modelos existentes tanto do ponto de vista biológico quanto do ponto de vista da previsão da data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento. Os experimentos de campo foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS, com 15 épocas de plantio, 9 épocas no ano de 2003 (21/01; 12/02; 28/02; 27/03; 12/08; 15/09; 15/10; 20/11e 24/12) e 6 épocas no ano de 2004 (28/01; 27/02; 26/03; 26/04; 31/05 e 26/08). O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com 4 repetições. As parcelas tinham dimensões de 3,0 x 3,0 m, constituídas por 4 linhas de plantas distanciadas 0,75 m entre linhas 0,33 m entre plantas, totalizando 40 plantas/parcela. Três plantas em cada uma das duas linhas centrais (área útil) das parcelas foram selecionadas ao acaso e etiquetadas logo após a emergência e utilizadas na determinação do início da senescência e da colheita. O início da tuberização (IT) foi determinado coletando-se 8 plantas (2 plantas de cada parcela) diariamente nas linhas da bordadura. A soma

térmica para as diferentes fases variou com a época de plantio, com o método de cálculo e com as temperaturas cardinais. Estes resultados indicam que a soma térmica deve ser usada com cautela para representar tempo fisiológico em batata. O modelo de desenvolvimento proposto foi superior ao método da soma térmica, com valor de RMSE médio= 10,41 dias, sendo que para IT, o RMSE foi de 3,7 dias.

ABSTRACT

Master's Thesis
Graduation Program of Agronomy
Universidade federal de Santa Maria – RS, Brazil

MODELING POTATO (*Solanum tuberosum* L.) DEVELOPMENT IN THE FIELD.

AUTHOR: Fabiana Luiza Matielo de Paula
ADVISOR: Nereu Augusto Streck
Location and date of presentation: Santa Maria, January 14th, 2005

Potato (*Solanum tuberosum* L.), Solanaceae, native of Cordilheira dos Andes, South America, is the fourth food crop worldwide, being only overcome by wheat, rice and corn. Potato production in Brazil is concentrated in the states of Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. Thermal time is a simple method and a better time descriptor than the calendar days or days after planting. However, thermal time has been criticized because of the assumption of a linear relationship between plant growth or development and temperature. The objectives of this study were: 1. To determine thermal time from emergency to tuber initiation, from tuber initiation to beginning of senescence and from beginning of senescence to harvest of field grown potato. 2. To construct and evaluate a model to simulate potato development that is superior to current models from a biological as well as from a simulation point of view. Experiments were carried out at Santa Maria RS, Brazil, 9 in the year of 2003 (21/01; 12/02; 28/02; 27/03; 12/08; 15/09; 15/10; 20/11e 24/12) and 6 in the year of 2004 (28/01; 27/02; 26/03; 26/04; 31/05 and 26/08). The experimental design was a complete random block design with four replications. Plots had 3.0 x 3.0 m and consisted of 4 lines of plants with 3.0 m length and 0.75m among them. The distance between plants was 0.33m, totalizing 40 plants/plot. Three plants were chosen from the two central lines. The plants were labeled right after emergence and used to determine the beginning of senescence and harvest time. Tuber initiation was determined by digging up eight plants from the border lines daily (two plants from each plot). Thermal time of different phases varied according to the planting date, calculation method, and the cardinal temperatures. These results indicate that the thermal time should be used with caution to tell time in potato. The proposed

development model was superior to the thermal time approach with an average RMSE of 10,41 days. The RMSE value for tuber initiation was 3.7 days.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1 - Datas das épocas de plantio e de ocorrência da emergência (EM), início da tuberização (IT), início da senescência (IS) e colheita (CO) da batata cultivar Asterix, utilizada no estudo. Santa Maria, RS, 2003-2004.....9

TABELA 2 - Duração média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV%) fases emergência- início da tuberização (EM-IT), início da tuberização a senescência (IT-IS) e início da senescência – colheita (IS-CO) da batata cv. Asterix, em dias do calendário civil e em °C.dia calculado pelos diferentes métodos com temperaturas cardinais constante e variando as temperaturas cardinais durante o ciclo de desenvolvimento Santa Maria, RS, 2003-2004.....13

CAPÍTULO II

TABELA 1. Datas das épocas de plantio e de ocorrência da emergência (EM), início da tuberização (IT), início da senescência (IS) e colheita (CO) da batata cultivar Asterix, utilizada no estudo. Santa Maria, RS, 2003-2004.....29

TABELA 2 - Valores médios de temperatura média diária do ar, fotoperíodo e de precipitação acumulada durante o ciclo da cultura da batata cv. Asterix, das várias épocas de plantio utilizadas como dados independentes para avaliar o modelo de simulação do desenvolvimento da cultura. Santa Maria, RS, 2003-2004.....33

TABELA 3 - Valores de RMSE médio pelos métodos da soma térmica com e sem a influência do fotoperíodo. Santa Maria, RS, 2003-2004.....35

TABELA 4 - Valores de RMSE (dias) para as fases de IT, IS e CO pelo modelo de desenvolvimento proposto e pelos três métodos de cálculo da soma térmica. Santa Maria, RS, 2003-2004.....36

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- FIGURA 1** - Representação esquemática dos três métodos de cálculo da soma térmica usados no estudo. Santa Maria, RS, 2003-2004.....8
- FIGURA 2** - Duração das fases de desenvolvimento emergência-início de tuberização (EM-IT), início de tuberização - início da senescência (IT-IS) e início da senescência – colheita (IS-CO) da batata cv. Asterix, em diferentes épocas de plantio, com tempo expresso em dias do calendário civil (a) e em soma térmica calculada pelo método 1(b), método 2 (c) e método 3 (d). Santa Maria, RS, 2003-2004.....12
- FIGURA 3** – Relação entre rendimento de tubérculos e duração das fases do ciclo de desenvolvimento, relação entre duração do ciclo total e duração das fases de desenvolvimento e relação entre duração da fase EM-IT e número de folhas no IT da batata, cv. Asterix. Santa Maria, RS, 2003-2004.....14
- FIGURA 4** – Relação entre duração da diferentes fases do desenvolvimento da batata cv. Asterix e temperatura média do ar durante as fases. Santa Maria, RS, 2003-2004.....17
- ### CAPÍTULO II
- FIGURA 1** - Representação esquemática do ciclo de desenvolvimento da batata e do modelo matemático proposto.Santa Maria, RS, 2003-2004.....25
- FIGURA 2** - Função de resposta a temperatura $f(T)$, eq. 4, para a fase vegetativa , fase tuberização e fase de senescência de desenvolvimento da batata cultivar Asterix. Santa Maria, RS, 2003-2004.....27
- FIGURA 3** -. Função de resposta ao fotoperíodo $f(P)$, eq. 6, da batata cultivar Asterix. Santa Maria, RS, 2003-2004.....28
- FIGURA 4** -Representação esquemática dos três métodos de cálculo da soma térmica usados no estudo. Santa Maria, RS, 2003-2004.....31
- FIGURA 5** – Relação entre duração da diferentes fases do desenvolvimento da batata cv. Asterix e temperatura média do ar durante as fases. Santa Maria, RS, 2003-2004.....34

FIGURA 6 - Dia do ano simulado versus observado, para início de tuberização (IT), início de senescência (IS) e colheita (CO) da batata cultivar Asterix , pelo método 1 (a), método 2 (b), método 3 (c) de cálculo da Soma Térmica, e pelo modelo de desenvolvimento proposto neste trabalho (d). Santa Maria, RS, 2003-2004.....34

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE A - Épocas utilizadas para estimar os valores da soma térmica, para avaliar a simulação da data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento pelo método de cálculo da soma térmica. Santa Maria, RS, 2003-2004.....	42
---	----

INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L.), família Solanaceae, é originária da Cordilheira dos Andes e ocupa o quarto lugar em volume de produção mundial de alimentos, sendo superada apenas pelo trigo, arroz e milho (LOPES & BUSO, 1997).

A área cultivada com batata no Brasil é de aproximadamente 150 mil/ha, e a produtividade média no ano de 2003 foi de 20,5 ton ha⁻¹ (IBGE, 2003). A produção da batata no Brasil concentra-se nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, sendo estes Estados responsáveis por aproximadamente 98% da produção nacional (IBGE, 2003). No Estado de Minas Gerais a produção de batata se concentra na região Sul, responsável por 70% da produção do Estado (MENDONÇA, 2001), com uma produção média de 26 ton ha⁻¹, responsável por 29% da produção nacional (IBGE, 2003). O Estado de São Paulo apresenta uma produtividade média de 25,7 ton ha⁻¹, e é responsável por 25% da batata produzida no país (IBGE, 2003). O Estado do Paraná contribui com cerca de 23% da produção nacional de batata, sendo na região a olerícola de maior importância socioeconômica (IAPAR, 1999), com produtividade média de 18,9 ton ha⁻¹ (IBGE, 2003). O Rio Grande do Sul apresenta 21% da produção nacional, apresentando uma produtividade média no Estado de 10,9 ton ha⁻¹ (IBGE, 2003).

Desenvolvimento e crescimento são processos independentes que podem ocorrer simultaneamente ou não. Desenvolvimento refere-se a diferenciação celular e iniciação dos órgãos, eventos relacionados a tempo, enquanto que crescimento refere-se ao aumento irreversível de massa aérea, volume, altura, comprimento ou diâmetro de órgãos (HODGES, 1991). A temperatura e o fotoperíodo são considerados os dois principais fatores abióticos que governam o desenvolvimento da cultura da batata (LEVY & KEDAR, 1985).

A soma térmica tem sido usada para representar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (GILMORE & ROGERS, 1958, JEFFERIES & MACKERRON, 1987). A soma térmica é um método simples e é uma melhor medida de tempo biológico do que dias do calendário civil ou dias após a semeadura (GILMORE & ROGERS, 1958).

Um modelo matemático é uma representação simplificada de um sistema. A simulação do desenvolvimento vegetal pode auxiliar na escolha de cultivares em programas de melhoramento no controle de pragas e doenças, no manejo adequado de fertilizantes e na programação da colheita (CONNEL et al., 1999). Existem vários modelos matemáticos de simulação de desenvolvimento da batata, mas estes modelos apresentam desvantagens, especialmente no que se refere a representação realística do efeito de fatores ecológicos sobre o desenvolvimento da batata. Este trabalho tem com objetivos:

- Determinar a soma térmica das fases de emergência ao início da tuberização, início da tuberização ao início da senescência e início da senescência à colheita da batata cultivar Asterix cultivada a campo.
- Construir e avaliar um modelo matemático para simular o desenvolvimento da cultura da batata, que seja superior aos modelos existentes tanto do ponto de vista biológico quanto do ponto de vista da previsão da data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento desta cultura.

CAPÍTULO I

SOMA TÉRMICA DE ALGUMAS FASES DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.)

THERMAL TIME OF SOME DEVELOPMENTAL PHASES IN POTATO (*Solanum tuberosum* L.)

RESUMO

O método da soma térmica tem sido usado para representar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, por ser um método simples e uma melhor medida de tempo biológico do que dias do calendário civil ou dias após a semeadura. O objetivo deste trabalho foi determinar a soma térmica por diferentes métodos de cálculo para as fases de emergência ao início da tuberização, do início da tuberização ao início da senescência e do início da senescência à colheita da batata cultivar Asterix, cultivada a campo. Experimentos foram conduzidos em Santa Maria, RS com onze datas de plantio: 28/02, 27/03, 12/08, 15/09, 15/10, 20/11 e 24/12 do ano de 2003 e 28/01, 27/02, 26/03 e 26/04 do ano de 2004. O delineamento utilizado foi blocos ao acaso, com 4 repetições. As parcelas tinham 3,0 x 3,0 m e eram constituídas por 4 linhas de plantas distanciadas 0,75 m entre linhas e 0,33 m na linha. A soma térmica para as diferentes fases variou com a época de plantio, com o método de cálculo e com as temperaturas cardinais. Estes resultados indicam que a soma térmica deve ser usada com cautela como medida de tempo biológico em batata.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L., soma térmica, desenvolvimento vegetal

ABSTRACT

Thermal time has been used to represent the effect of the air temperature on plants growth and development. Thermal time is a simple method and a better time descriptor than calendar days in plants. The objective of this study was to calculate the thermal time by different calculation methods for different developmental phases (emergency to tuber initiation, from tuber initiation to beginning of senescence and from beginning of senescence to harvest time) in field grown potato cultivar Asterix. Field experiments were carried out at Santa Maria RS, Brazil, with eleven planting dates: 28/02, 27/03, 12/08, 15/09, 15/10, 20/11 and 24/12, during 2003, and 28/01, 27/02, 26/03 and 26/04, during 2004. The experimental design was a complete randomized block design with four replications. Plots had 3,0 x 3,0 m and composed by 4 rows of plants with 3,0 m length, 0,75m among rows and 0,33m among plants. Thermal time for different developmental phases varied according to planting date, calculation method, and cardinal temperatures. These results indicate that the thermal time should be used with caution to tell time in potato.

Key words: *Solanum tuberosum* L., thermal time, vegetable development

INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) família Solanaceae, é originária da Cordilheira dos Andes e ocupa o quarto lugar em volume de produção mundial de alimentos, sendo superada apenas pelo trigo, arroz e milho (LOPES & BUSO, 1997). A produção da batata no Brasil concentra-se nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, sendo estes Estados responsáveis por aproximadamente 98% da produção nacional (IBGE, 2003). A área cultivada com batata no Brasil é de aproximadamente 150 mil/ha, e a produtividade média no ano de 2003 foi de 20,5 ton ha⁻¹ (IBGE, 2003). No Estado de Minas Gerais a produção de batata se concentra na região Sul, responsável por 70% da produção do Estado (Mendonça, 2001), com uma produção média de 26 ton ha⁻¹, responsável por 29% da produção nacional (IBGE, 2003). O Estado de São Paulo apresenta produtividade média de 25,7 ton ha⁻¹, e é responsável por 25% da batata produzida no país (IBGE, 2003). O Estado do Paraná contribui com cerca de 23% da produção nacional de batata, sendo na região a olerícola de maior importância socioeconômica (IAPAR,

1999), com produtividade média de 18,9 ton ha⁻¹ (IBGE, 2003). O Rio Grande do Sul apresenta 21% da produção nacional, apresentando uma produtividade média no estado de 10,9 ton ha⁻¹ (IBGE, 2003).

A soma térmica tem sido usada para representar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (GILMORE & ROGERS, 1958, ARNOLD, 1960; JEFFERIES & MACKERRON, 1987). A soma térmica é um método simples e é uma melhor medida de tempo biológico em plantas do que dias do calendário civil ou dias após a semeadura/plantio (GILMORE & ROGERS, 1958). No entanto, o método da soma térmica tem recebido críticas, por exemplo, por assumir uma relação linear entre crescimento ou desenvolvimento vegetal e temperatura, o que não é realístico do ponto de vista biológico, já que a resposta de processos biológicos à temperatura é não linear (YIN et al, 1995; GRANIER & TARDIEU, 1998; BONHOMME, 2000). Outro aspecto geralmente observado é que as temperaturas cardinais utilizadas no cálculo da soma térmica são constantes durante o ciclo de desenvolvimento (BONHOMME, 2000). Tem sido demonstrado que as temperaturas cardinais não são constantes durante o ciclo de desenvolvimento vegetal (STRECK et al., 2003). Além destes aspectos biológicos, a forma de cálculo da soma térmica também tem sido alvo de discussões, pois não é descrita nos artigos ou não é a mesma entre diferentes autores (MCMASTER & WILHELM, 1997).

O ciclo de desenvolvimento da cultura da batata, pode ser dividido em três fases (LOPES & BUSO, 1997; KOOMAN et al., 1996): da emergência ao início da tuberização (EM-IT), do início da tuberização ao início da senescência (IT-IS) e do início da senescência a colheita (IS-CO). A fase EM-IT, se caracteriza pelo estabelecimento do sistema radicular e aumento da área foliar e fotossíntese. Quanto mais longa a fase de EM-IT, maior o ciclo total da cultura, maior rendimento final de tubérculos (PEREIRA & DANIELS, 2003). Na fase do IT-IS os produtos da fotossíntese são usados para crescimento dos estolões, crescimento da folhagem, início da formação e crescimento dos tubérculos na extremidade dos estolões. Os açúcares produzidos pela fotossíntese são convertidos em amido e armazenados nos tubérculos. Nesta fase portanto, qualquer estresse, como por exemplo doenças, pragas, deficiência de nutrientes, falta de água, danos por geada ou granizo afetam o rendimento final (PEREIRA & DANIELS, 2003). O estágio IT é, assim, um estágio de desenvolvimento importante pois é o momento em que a partição de assimilados

da planta se modifica e práticas de manejo como a adubação nitrogenada de cobertura e amontoa devem ser realizadas neste estágio (LOPES & BUSO, 1997). Na fase IS-CO as reservas da parte aérea e os assimilados são direcionados para os tubérculos, e o teor de matéria seca destes atinge o máximo. As folhas e caules se tornam amareladas, com redução gradual da fotossíntese e do crescimento dos tubérculos, até o secamento completo da parte aérea. A periderme dos tubérculos torna-se firme, as gemas ficam dormentes e o teor de açúcares é reduzido até a maturação final (PEREIRA & DANIELS, 2003). Neste contexto a soma térmica pode ser uma ferramenta para estimar estes estágios de desenvolvimento da batata e assim melhorar e aumentar o rendimento de tubérculos.

O objetivo deste trabalho foi determinar a soma térmica das fases de emergência ao início da tuberização, início da tuberização ao início da senescência e início da senescência à colheita de batata cultivar Asterix cultivada a campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimentos de campo foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil (latitude: 29° 43`S, longitude: 53° 48`W e altitude: 95 m). O clima da região, segundo a classificação Köppen, é Cfa Subtropical úmido sem estação seca definida com verões quentes (MORENO, 1961). O solo, representativo do local, é um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico e pertence à unidade de Mapeamento São Pedro (EMBRAPA, 1999).

Os tubérculos utilizados nos experimentos possuíam alta qualidade fitossanitária e fisiológica, produzidos a partir de minitubérculos livres de vírus no Programa de Genética e Melhoramento de Batata do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. Foram realizadas onze épocas de plantio, sendo sete no ano de 2003 e quatro no ano de 2004 (Tabela 1).

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com 4 repetições. As parcelas tinham dimensões de 3,0 x 3,0 m, constituídas por 4 linhas de plantas distanciadas 0,75 m entre linhas 0,33 m entre plantas, totalizando 40 plantas. A área útil do experimento foi as duas fileiras centrais. Três plantas aleatórias em cada uma das duas linhas centrais das parcelas foram etiquetadas logo após a emergência e utilizadas na determinação do número de folhas na haste principal, início da

senescência e ponto de colheita. A adubação seguiu as recomendações da análise do solo e foram realizadas irrigações quando necessário para manter as plantas livres de estresse devido à falta de água no solo.

O dia da emergência (EM) foi considerado quando 50% das plantas na parcela estavam visíveis acima do solo (SANDS et al., 1979). O início da tuberização (IT) foi determinado coletando-se 8 plantas (2 plantas de cada parcela) diariamente nas linhas da bordadura. O dia do IT foi considerado quando 50% das plantas amostradas apresentavam pelo menos um tubérculo com 1 cm de diâmetro (SANDS et al., 1979; MANRIQUE & HOGES, 1989; OLIVEIRA, 2000;). Após a avaliação para IT, as plantas amostradas foram repostas para compor a bordadura. A data do início da senescência (IS) foi considerada quando 50% das plantas etiquetadas na parcela estavam no estágio 81 da escala desenvolvimento de BATZ et al. (1980). O dia do ponto de colheita (CO) foi considerado quando 100% das plantas etiquetadas na parcela completaram o estágio 89 da escala de desenvolvimento de BATZ et al. (1980).

Os dados de temperatura mínima e máxima diária do ar durante o período experimental foram coletados na Estação Climatológica Principal pertencente ao 8º DISME/INMET localizada a aproximadamente 200 metros da área experimental.

A soma térmica diária (STd, °C.dia) foi calculada por três métodos (GILMORE & ROGERS, 1958; ARNOLD, 1960)

Método 1: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia, se $T_{med}<T_b$ então $T_{med}=T_b$ (1)

Método 2: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia, se $T_{med}<T_b$ então $T_{med}=T_b$ e se $T_{med}>T_{tot}$, então $T_{med}=T_{opt}$(2)

Método 3: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia quando $T_b<T_{med} \leq T_{tot}$ e $ST=(T_{tot}-T_b).(T_{max}-T_{med})/(T_{max}-T_{tot})$ quando $T_{tot}<T_{med} \leq T_{max}$(3)

onde: **T_b** é a temperatura base, **T_{tot}** é a temperatura ótima e **T_{max}** é a temperatura máxima para o desenvolvimento da batata. Utilizou-se $T_b = 7^\circ\text{C}$, $T_{tot}=21^\circ\text{C}$ e $T_{max}=30^\circ\text{C}$ (SANDS et al.1979; MANRIQUE & ROGES, 1989). A temperatura média (T_{med}) foi calculada pela média aritmética entre a temperatura mínima e a temperatura máxima diária do ar. A representação da concepção de cálculo dos três métodos de soma térmica está na Figura 1.

A soma térmica acumulada (STa, °C dia) a partir da emergência foi calculada por $STa= \sum_1^n STd$, onde n é duração em dias, da fase desenvolvimento. A análise

estatística utilizada constou do cálculo da média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das variáveis número de dias e soma térmica das fases de desenvolvimento.

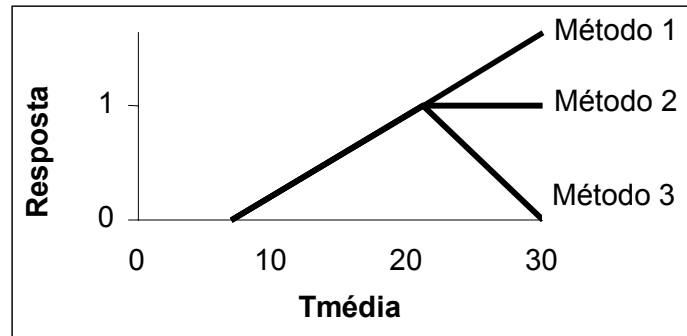


FIGURA 1 - Representação esquemática dos três métodos de cálculo da soma térmica usados no estudo. Santa Maria, RS, Brasil, 2003-2004

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A data média de ocorrência dos estágios de desenvolvimento EM, IT, IS e CO da batata está na Tabela 1. A duração total do ciclo de desenvolvimento e das fases EM-IT, IT-IS e IS-CO variou entre as épocas de plantio, independente se o tempo foi contabilizado como dias do calendário civil ou soma térmica (Figura 2). Quando o tempo foi representado em soma térmica, a duração ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$) do ciclo total e das fases diminuiu do método 1 para o método 3. O ciclo de desenvolvimento mais longo ocorreu na época 4 quando o tempo foi medido em soma térmica pelo método 1 (2418,8 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$), 2 (2117,4 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$) e 3 (1649,9 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$) e na época 3 quando o tempo foi medido em dias após a emergência (98 dias). O menor ciclo de desenvolvimento quando tempo foi medido em dias após a emergência foi na época 9 (60 dias) enquanto que quando a soma térmica pelos métodos 1 e 2 foi usado, o menor ciclo ocorreu na época 11 com valores de 1052,5 e 1036,2 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$, respectivamente. Quando a soma térmica foi calculada pelo método 3, o menor ciclo foi na época 9 (941,8 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$).

TABELA 1 - Datas das épocas de plantio e de ocorrência da emergência (EM), início da tuberização (IT), início da senescência (IS) e colheita (CO) da batata cultivar Asterix, utilizadas no estudo. Santa Maria, RS, Brasil, 2003-2004.

Épocas	Data de plantio	Data de EM	Data de IT	Data de IS	Data de CO
1	28/02/2003	11/03/2003	26/03/2003	24/04/2003	16/05/2003
2	27/03/2003	07/04/2003	23/04/2003	03/06/2003	21/06/2003
3	12/08/2003	12/09/2003	24/09/2003	08/11/2003	16/12/2003
4	15/09/2003	06/10/2003	28/10/2003	11/12/2003	06/01/2004
5	15/10/2003	03/11/2003	22/11/2003	27/12/2003	15/01/2004
6	20/11/2003	08/12/2003	07/01/2004	24/01/2004	10/02/2004
7	24/12/2003	27/01/2004	01/03/2004	21/03/2004	10/04/2004
8	28/01/2004	15/02/2004	17/03/2004	07/04/2004	20/04/2004
9	27/02/2004	14/03/2004	03/04/2004	21/04/2004	10/05/2004
10	26/03/2004	10/04/2004	29/04/2004	09/06/2004	01/07/2004
11	26/04/2004	06/05/2004	22/05/2004	27/06/2004	08/07/2004

Para a fase EM-IT, a época 3 apresentou a fase mais curta, tanto em soma térmica pelos métodos 1, 2 e 3 (117,1; 115,7; 113,5°C dia, respectivamente) quanto em dias do calendário civil (12 dias). A fase mais longa EM-IT em soma térmica, foi observada na época 7, pelo método 1 (608,9°C. dia) e método 2 (488,4°C.dia) , e na época 6 pelo método 3 (319,4°C dia). Em dias do calendário civil, a época 7 teve a mais longa fase EM-IT (35 dias).

Para a fase IT-IS em soma térmica, a época 11 foi mais curta pelo método 1 (314,6°C. dia). A época 6 foi a mais curta tanto em soma térmica pelos métodos 2 (252,0°C.dia) 3 (110,4°C.dia), quanto em dias do calendário civil (17 dias). A fase IT-IS mais longa em soma térmica foi na época 3 pelo método 3 (490,9°C.dia), e, na época 4, pelos métodos 1 e 2 (693,0; 594,8 °C.dia, respectivamente). Em dias do calendário civil, a época 3 apresentou a maior duração IT-IS (46 dias).

Para a fase do IS-CO, a época 11 apresentou a fase mais curta tanto em soma térmica pelos métodos 1 (127,9°C.dia) , 2 (119,8°C.dia), e 3 (107,3°C.dia) quanto em dias do calendário civil (11 dias). A fase mais longa em soma térmica foi observada na época 3 pelos métodos 1, 2 e 3 (618,7; 530,2; 392,7°C.dia, respectivamente) e em dias do calendário civil (39 dias).

No RS a batata é cultivada em duas épocas de plantio. O chamado “Plantio de safra” é recomendado nos meses de Julho e Agosto e a chamada “safrinha” é recomendado nos meses de Fevereiro e Março (BISOGNIN, 1996). O plantio da safra, que corresponde a época 3 neste trabalho, apresentou maior duração do ciclo de desenvolvimento, EM-CO (98 dias). Já o plantio da safrinha, que corresponde principalmente as épocas 1 e 9 deste trabalho, apresentou a menor duração do ciclo total de desenvolvimento, EM-CO (70 e 60 dias, respectivamente)

Comparando-se a mesma data de plantio nos dois anos (épocas 1 e 9) a soma térmica da época 1 foi de 236,6, 391,3 e 273,2 °C dia para fase EM-IT, 216,4, 366,1 e 257,9°C dia para fase IT-IS e 185,0, 326,9 e 234,1 °C dia para fase IS-CO pelos métodos 1, 2 e 3, respectivamente. Para época 9 foi 347,1, 320,6 e 223,2°C dia para fase EM-IT ; 294,0, 257,1 e 215,1°C dia para fase IT-IS ; 211,4, 158,3 e 202,4 °C dia para fase IS-CO pelos métodos 1, 2 e 3, respectivamente. Entre as épocas 1 e 9 ocorreram condições térmicas distintas, com a época 1 sendo mais fria que a época 9. A temperatura mínima diária do ar durante o ciclo EM-CO variou de 12,4 a 21,7°C e de 19,4 a 21,2°C e a temperatura máxima diária do ar variou de 22,6 a 30,2 °C, e de 24,8 a 32,8°C, respectivamente para as épocas 1 e 9.

As épocas 6, 7 e 8, correspondente a data de plantio em Novembro, Dezembro e Janeiro, respectivamente, apresentaram a maior duração da fase da EM-IT. Nestas épocas tem-se os maiores valores de fotoperíodo para o local estudado (próximo de 14 horas). A batata é uma planta de dia curto para início da tuberização (LEVY & KEDAR, 1985), ou seja, a data de início de tuberização é acelerado por dias curtos. O fotoperíodo nestas épocas de plantio certamente foi a causa do atraso do início da tuberização em relação as épocas 1, 2, 3, 9, 10 e 11 onde o fotoperíodo foi menor, com valor médio de 12,1h. O aumento da duração da fase EM-IT se deu em função do aumento do número de folhas emitidas até o IT (Figura 3h).

Na literatura encontra-se relato de que a fase vegetativa (EM-IT) é que controla o ciclo de desenvolvimento da batata, medido em dias do calendário civil (PEREIRA & DANIELS, 2003), ou seja, quanto maior a fase vegetativa maior o ciclo. Quanto maior o ciclo de desenvolvimento também espera-se que o rendimento de tubérculos aumente, uma vez que o aumento do ciclo de desenvolvimento, especialmente durante a emissão de folhas, aumente a duração da área folhar

verde e, conseqüentemente da fotossíntese, o que garante uma maior produção de fotoassimilados para enchimento dos tubérculos.

Neste trabalho ocorreu uma relação inversa entre duração da fase vegetativa EM-IT e duração total do ciclo, já que nas épocas em que a duração do ciclo total foi maior (épocas 3 e 4), a duração da fase EM-IT foi das menores, enquanto que nas épocas 6, 7, e 8 a duração da fase EM-IT foi maior e o ciclo foi dos mais curtos (Figura 2a, 3e) O ciclo total foi controlado pela duração da fase IT-IS e IS-CO (Figura 3f e 3g). O rendimento de tubérculos, no entanto, apresentou uma relação forte ($R^2=0,66$) com duração do ciclo, em dias (Figura 3a), com maiores rendimentos em plantios de final de inverno, início da primavera, que corresponde ao período recomendado do “plantio da safra”. A relação positiva entre rendimento e duração do ciclo total é controlada pela duração das fases após o IT, ou seja, quanto maior a fase IT-IS e IS-CO, maior o rendimento de tubérculos (Figura 3c e 3d), em função da fraca e negativa relação do rendimento de tubérculos com a duração da fase EM-IT. Parece ser lógico que o rendimento de tubérculos da batata tenha relação de dependência com a fase IT-IS, que é a fase de enchimento de tubérculos, e não com a fase de EM-IT. Nem tão lógica parece ser a relação entre rendimento de tubérculos e a duração da fase IS-CO obtida neste trabalho, uma vez que, o tamanho dos tubérculos no IS já é praticamente o seu tamanho final. A relação positiva entre rendimento de tubérculos e duração da fase IS-CO é grande devido a um ponto isolado na extrema direita da Figura 3d. Este ponto corresponde à época 3, plantio em 12/08/2003, época recomendada para a região (BISOGNIN, 1996).

Os resultados deste estudo reforçam a importância de realizar plantios nas épocas recomendadas (safra e safrinha no RS). Os plantios realizados fora das épocas recomendadas, podem causar redução no número e peso médio de tubérculos por planta, afetando o rendimento final, devido ao encurtamento das fases IT-IS e IS-CO em função das altas temperaturas. Além disso, altas temperaturas aumentam o número de tubérculos com distúrbios fisiológicos, inviabilizando a comercialização (MENEZES et al., 1999). Comparando-se os rendimentos de tubérculos na safra e safrinha, os rendimentos tendem a ser maiores na safra (época 3 teve rendimento de $2,989 \text{ kg/m}^2$) do que na safrinha (épocas 1 e 9 tiveram rendimentos de $0,787$ e $0,392 \text{ kg/m}^2$, respectivamente) devido à maior duração da fase EM-CO.

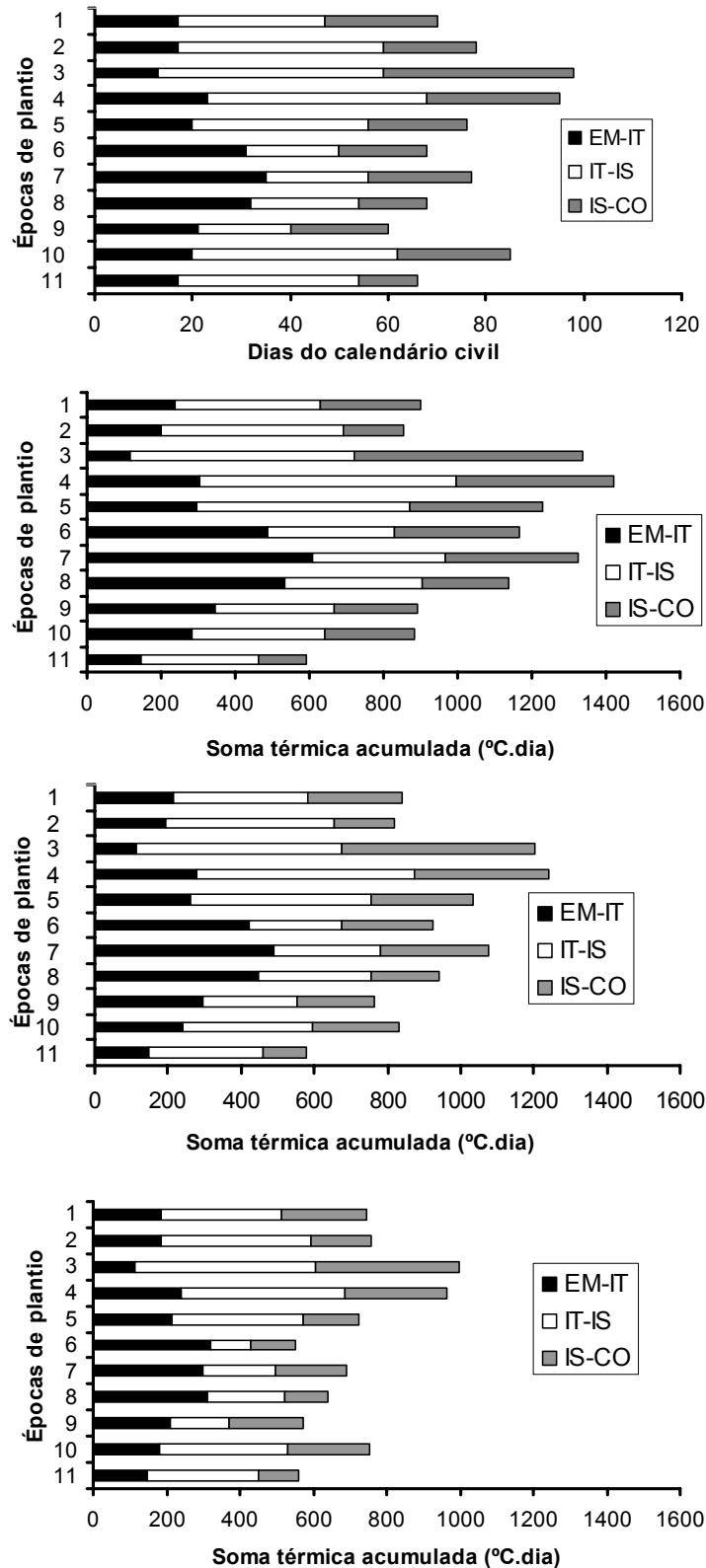


FIGURA 2 - Duração das fases de desenvolvimento emergência-início de tuberização (EM-IT), início de tuberização – início da senescência (IT-IS) e início da senescência – colheita (IS-CO) da batata cv. Asterix, em diferentes épocas de plantio, com tempo expresso em dias do calendário civil (a) e em soma térmica calculada pelo método 1(b), método 2 (c) e método 3 (d). Santa Maria, RS, Brasil, 2003-2004

O coeficiente de variação (CV) pode ser usado como estatística para medir a variabilidade da duração (dias ou °C.dia) das fases de desenvolvimento de culturas cultivadas em diferentes épocas (JEFFERIES & MACKERRON, 1987). Considerando o ciclo total (EM-CO), o CV foi maior quando o tempo foi expresso em soma térmica (°C.dia) do que quando tempo foi expresso em dias do calendário civil (Tabela 2). Apenas na fase IT-IS, a soma térmica calculada pelos métodos 1 e 2 e na fase EM-IT pelo método 3 teve um menor CV do que dias do calendário civil.

TABELA 2 - Duração média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV%) fases emergência- início da tuberização (EM-IT), início da tuberização a senescência (IT-IS) e início da senescência – colheita (IS-CO) da batata cv. Asterix, em dias do calendário civil e °C.dia calculado pelos diferentes métodos com temperaturas cardinais constante e variando as temperaturas cardinais durante o ciclo de desenvolvimento. Santa Maria, RS, 2003/2004.

	EM-IT			IT-IS			IS-CO			Ciclo total (EM-CO)		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Com temperaturas cardinais constantes durante o ciclo de desenvolvimento												
Dias	22,4	7,17	32,1	32,6	10,79	33,1	21,5	7,15	33,3	74,4	12,8	17,2
STa ₁	323,4	158,5	49,0	438,2	131,1	29,9	305,3	136,8	44,8	1825,0	410,7	22,5
STa ₂	282,6	121,9	43,1	386,2	121,2	31,4	263,9	110,7	42,0	1601,4	305,3	19,1
STa ₃	219,2	67,9	31,0	305,2	123,1	40,3	199,0	83,1	41,8	1247,9	230,8	18,5
Variando as temperaturas cardinais durante o ciclo de desenvolvimento												
STa ₁	390,9	179,1	45,8	439,0	130,3	29,7	335,4	98,3	29,3	1995,1	436,4	21,9
STa ₂	241,3	83,2	34,5	384,4	121,9	31,7	230,7	80,4	34,8	1482,1	264,8	17,9
STa ₃	114,8	22,7	19,8	303,9	124,9	41,1	117,0	56,3	48,2	958,8	281,3	29,5

Dias= Dias do calendário civil (dias)

STa₁= Soma térmica acumulada pelo método 1 (°C.dia)

STa₂= Soma térmica acumulada pelo método 2 (°C.dia)

STa₃= Soma térmica acumulada pelo método 3 (°C.dia)

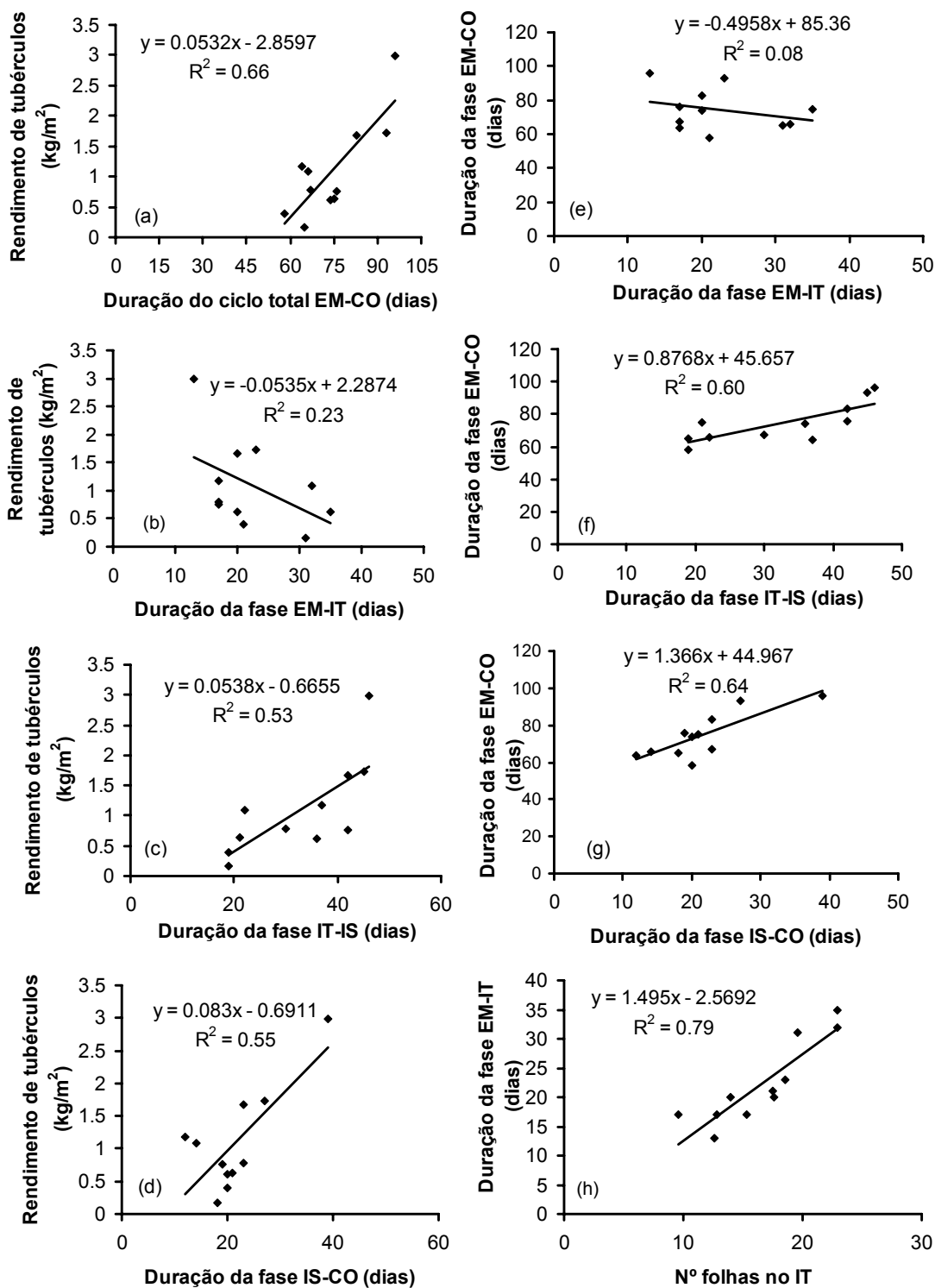


FIGURA 3 – Relação entre rendimento de tubérculos e duração das fases do ciclo de desenvolvimento, relação entre duração do ciclo total e duração das fases de desenvolvimento e relação entre duração da fase EM-IT e número de folhas no IT da batata cv Asterix. EM= emergência, IT= início da tuberização, IS= início da senescência e CO= colheita. Santa Maria, RS, 2003-2004

A expectativa de que a soma térmica, por ser um melhor descritor de tempo em plantas do que dias do calendário civil, diminuísse o CV comparado com dias do calendário civil (GILMORE & ROGERS, 1958; JEFFERIES & MACKERRON, 1987) foi frustrada neste estudo. Uma possível hipótese para esta frustração pode ser a de que as temperaturas cardinais foram constantes ao longo de todo o ciclo da batata, já que tem sido demonstrado que estas temperaturas variam ao longo do ciclo de desenvolvimento vegetal (STRECK et al., 2003). Para testar esta hipótese, procedeu-se o cálculo da soma térmica utilizando temperaturas cardinais diferentes para cada fase. Na fase vegetativa a T_{\min} foi definida como 4°C (HARTZ & MOORE, 1978) e T_{opt} e T_{max} foram definidos como 15 e 28°C, respectivamente (INGRAM & MCCLOUD, 1984). Na fase de tuberização as temperaturas cardinais T_{\min} , T_{opt} e T_{max} , foram definidas como 7, 21 e 30°C, respectivamente (SANDS et al., 1979; MANRIQUE & HODGES, 1989). Não foram encontrados na literatura valores para as temperaturas cardinais de desenvolvimento durante a senescência das plantas. Baseado em discussões com pessoas ligadas a produção de batata, assumiu-se que na fase de senescência as temperaturas cardinais são as mesmas da primeira fase (EM-IT), ou seja $T_b = 4^\circ\text{C}$, $T_{\text{opt}} = 15^\circ\text{C}$ e $T_{\text{max}} = 28^\circ\text{C}$. Esta diminuição das temperaturas cardinais é realística pois em regiões temperadas o ciclo de desenvolvimento da batata ocorre similarmente às culturas de verão, ou seja, inicia na primavera, se estende pelo verão e a fase de senescência ocorre no início do outono, quando as temperaturas do ar iniciam a diminuir. Em espécies de verão como milho e a soja, as temperaturas cardinais de desenvolvimento são menores no final do ciclo em relação às fases iniciais e intermediárias (PENNING de VRIES et al., 1989). Ainda assim, o CV permaneceu menor para dias do calendário civil exceto apenas nas fases EM-IT, quando se utilizou o método 3, e na fase IT-IS, métodos 1 e 2 (Tabela 2), ou seja, não houve mudança na tendência do CV. Entre os métodos de cálculo da soma térmica, não houve uma tendência consistente no sentido de mudança no CV. Considerando-se o ciclo total de desenvolvimento e a fase IS-CO, o CV foi maior para os métodos 1 e 3 e para o método 2 e 3, respectivamente. Já na fase EM-IT o CV diminuiu do método 1 para o método 3 e na fase de IT-IS o CV aumentou do método 1 para o método 3.

As grandes variações da soma térmica entre as épocas de plantio e de ano para ano pode ser devido ao fotoperíodo, já que a batata é uma planta responsiva a fotoperíodo (LEVY & KEDAR, 1985; MANRIQUE & HOGES, 1989). Foi demonstrado

que o fotoperíodo afeta a duração da fase EM-IT, mas não nas fases seguintes (KOOAN et al., 1996). Procedeu-se então incluir o fotoperíodo no cálculo da soma térmica, através das unidades fototérmicas de NUTTONSON (1955) citado por PASCALE & DAMARIO (2004). Ainda assim, o CV permaneceu maior utilizando tempo fototérmico do que dias do calendário civil, com valores de CV na fase de EM-IT de 49,9; 39,4 e 22,9 variando-se as temperaturas cardinais durante o ciclo de desenvolvimento e valores de 53,0, 47,6 e 36,8 com temperaturas cardinais constante durante o ciclo para os métodos 1, 2 e 3, respectivamente.

A frustração com o método da soma térmica obtida neste trabalho reflete a complexidade de resposta do desenvolvimento da batata a fatores ambientais, incluindo temperatura. Por exemplo, a duração total do ciclo de desenvolvimento (EM-CO) não teve relação com a temperatura média do ar durante estas fases (Figura 4a). Isto ocorreu porque a duração da fase EM-IT esteve positivamente correlacionada com temperatura (Figura 4b), enquanto que a duração da fase IT-IS esteve negativamente correlacionada com a temperatura (Figura 4c), ou seja, efeitos opostos acabaram anulando o efeito da temperatura no ciclo total. Como a duração da fase IS-CO não tem relação com a temperatura (Figura 4d), o resultado é que a temperatura do ar não explica a duração do ciclo total de desenvolvimento da batata a campo. A solução seria uma nova concepção de cálculo da soma térmica que não englobasse linearidade ou uma nova concepção para representar tempo biológico.

Os resultados deste estudo indicam que graus dia ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$) não são melhores do que dias do calendário civil como medida de tempo biológico para descrever o desenvolvimento da batata cultivar Asterix. Resultados similares foram encontrados por MAJOR et al. (1975), para a cultura da soja e por SENTELHAS & UNGARO (1998) na cultura do girassol. A implicação destes resultados é a limitação do método da soma térmica para prever as datas dos estágios de desenvolvimento da batata, já que é necessário se saber a época de plantio, e não há garantia que na mesma época de plantio os graus dia serão os mesmos todos os anos e ainda a soma térmica depende do método de cálculo.

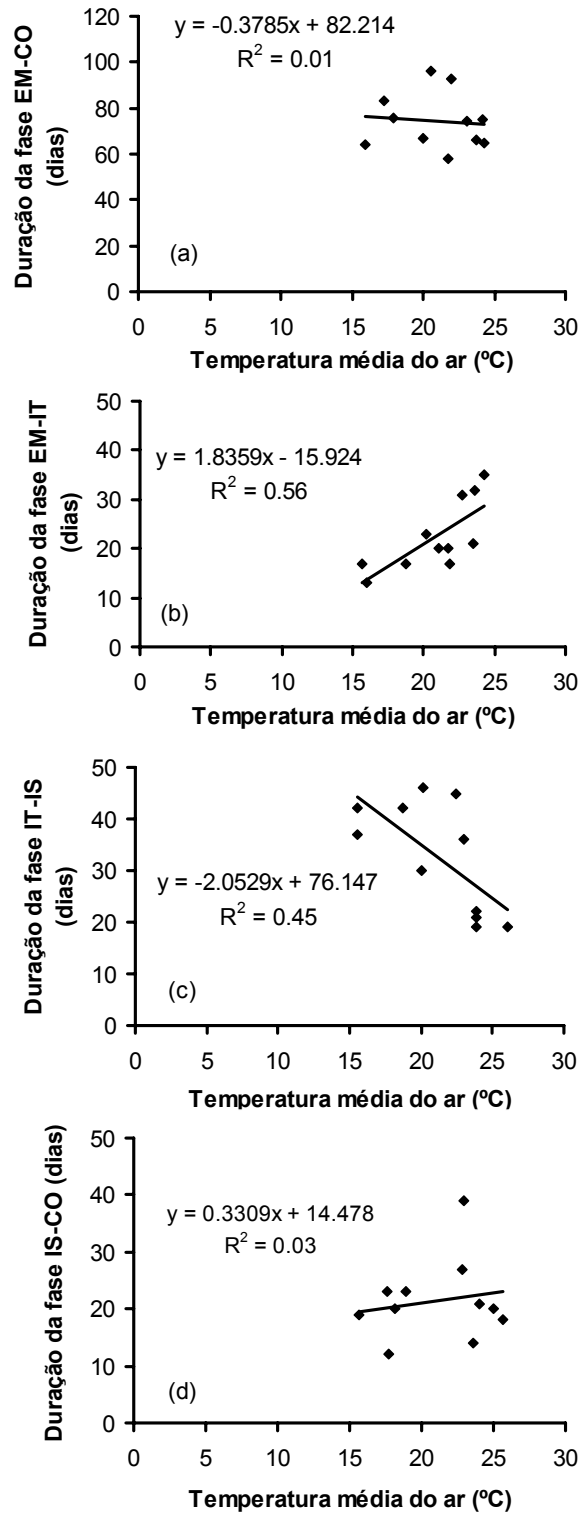


FIGURA 4 – Relação entre duração das diferentes fases do desenvolvimento da batata cv. Asterix e temperatura média do ar durante as fases. EM= emergência, IT= início da tuberação, IS= início da senescência e CO= colheita. Santa Maria, RS, 2003-2004

Como causas da limitação da soma térmica como medida de tempo vegetal é citada a pressuposição que a resposta de desenvolvimento da planta à temperatura é linear e sabe-se que a resposta de processos biológicos, inclusive desenvolvimento vegetal, a temperatura é não linear (BONHOMME, 2000; YIN et al. 1995; GRANIER & TARDIEU, 1998); a pressuposição de que a temperatura do ar é igual a temperatura da região de desenvolvimento da planta, ou seja, o ápice meristemático ou o dossel vegetativo (MCMASTER & WILHELM, 1997) o que na prática nem sempre se verifica, dependendo da época do ano e do período do dia (GRANIER & TARDIEU, 1998) e as temperaturas cardinais utilizadas no cálculo geralmente são constante durante o ciclo de desenvolvimento (STRECK, 2002). As temperaturas cardinais de desenvolvimento modificam à medida que a planta avança no ciclo de desenvolvimento (STRECK et al. 2003). Outro aspecto que tem sido levantado na literatura é de que o método a ser utilizado para cálculo da soma térmica deve ser bem descrito no trabalho. Por exemplo, MCMASTER & WILHELM, (1997) demonstraram que o modo como a temperatura base é incorporada no cálculo (antes ou depois de calcular a temperatura média diária) pode causar uma diferença na predição da data de ocorrência da maturação fisiológica em trigo de até 14 dias.

A soma térmica tem sido usada para representar tempo biológico em plantas há muito tempo e é um método muito difundido no meio acadêmico, e entre extensionistas e pesquisadores. A simplicidade do cálculo é a principal característica atrativa da soma térmica. No entanto esta característica não é garantia de sucesso. A prova disso é que relatos de frustrações com o uso deste método tem sido uma realidade, a exemplo deste estudo. Repensar conceitos e técnicas de usos rotineiros pode ser um exercício importante e revelante. Talvez o conceito de soma térmica esteja nesta modalidade.

CONCLUSÃO

A soma térmica para as fases EM-IT, IT-IS e IS-CO de batata cultivar Asterix varia em função da época de plantio, o que limita sua utilização para representar tempo biológico nesta cultivar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, C.Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. **American Society for Horticultural Science**, Boston, v.76, p. 682-692, 1960.

BÄTZ, W., et al. **Entwicklungsstadien der kartoffel**. Belin: Biologische Bundesanstalt für land-und forstwirtschaft, Merkblatt Nr. 27/5, 1980.

BISOGNIN, D.A. et al. **Recomendação técnica para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria: Departamento de Fitotecnia, 1996. Ecologia batata: 3-20p.

BONHOMME, R. Bases and limits to using 'degree.day' units. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, n.1, p. 1-10, 2000.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produções de informações, 1999. 412p.

GILMORE, E.C.Jr.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, n. 10, p. 611-615, 1958.

GRANIER, C.; TARDIEU, F. Is thermal time adequate for expressing the effects of temperature on sunflower leaf development? **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.21, p.695 – 703, 1998.

HARTZ, T.K.; MOORE, F.D. Prediction of potato yield using temperature and insolation data. **American Potato Journal**, Orono, v. 55, n. 7, p. 431-436, 1978.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. Disponível em: <<http://www.IAPAR.com.br>>. Acesso em: 21 set. 2003.

IBGE, DPE, DEAGRO – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, confronto das safras de 2003 e das estimativas para 2004. Disponível em: <<http://www.IBGE.com.br>>. Acesso em: 22 nov. 2004

INGRAM, K.T.; McCLOUD, D.E. Simulation of potato growth and development. **Crop Science**, Madison, v.24, n.1, p. 21-27, 1984.

JEFFERIES, R.A.; MCKERRON, D.K.L. Thermal time as a non-destructive method of estimating tuber initiation in potatoes. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.108, p. 249-252, 1987.

KOOMAN, P.L., et al. Effects of climate on different potato genotypes 2. Dry matter allocation and duration of the growth cycle. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.5, p. 207-217, 1996.

LEVY, D.; KEDAR, N. **Solanum tuberosum**. In: HALEVY, A.H. CRC Handbook of flowering – Vol. IV. Boca Raton: CRC, 1985, p. 363-366.

LOPES, C.A.; BUSO, J.A., Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.). **Embrapa Hortaliças**, Brasília: Instruções técnicas da Embrapa Hortaliças- 8, 1997, 36p.

MAJOR, D.J.; JONSON, D.R.; LUEDDERS, V.D. Evaluation of Eleven Thermal Unit Methods for Predicting Soybean Development. **Crop Science**. Madison, v. 15, p.172-174, 1975.

MANRIQUE, L.A.; HODGES, T. Estimation of tuber initiation in potatoes grown in tropical environments based on different methods of computing thermal time. **American Potato Journal**, Orono, v. 66, p. 425-436, 1989.

McMASTER, G.S.; WILHELM, W.W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Florest Meteorology**. Amsterdam, v. 87, p. 291-300, 1997.

MENDONÇA, R.S. et al. I simposio de batata da Região de Alfenas. Disponível em <<http://www.minasgerais.com.br>> Acesso em: 10 nov. 2003

MENEZES, C.B. et al. Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) nas safras “das águas” e de inverno no Sul de Minas Gerais. **Ciência e tecnologia**. Lavras, v.23, n.4, p.776-783, 1999

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.46p.

OLIVEIRA, C.A.S. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.5, p. 939- 950, 2000.

PENNING de VRIES, F.W.T. et al. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops**. Wageningen: Pudoc, 1989. 271p.

PEREIRA, S.A.; DANIELS.J. **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**, 1 ed. Pelotas. Embrapa, 2003. Parte 2: Planta: p. 80- 104.

SANDS, P.J.; HACKETT, C., NIX, H. A. A model of the development and bulking of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). 1- Derivation from well-managed field crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 2, n. 4, p. 309-331, 1979.

SENTELHAS, P.C.; UNGARO, M.R.G. Índices bioclimáticos para a cultura de girassol. **Scientia Agrícola**, Piracicaba,. v.55, n.1. p.1-10, 1998.

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

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

YIN, X., et al. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. **Agricultural and Florest Meteorology**, Amsterdam,v.7, p.1-16, 1995.

CAPÍTULO II

SIMULANDO O DESENVOLVIMENTO DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) A CAMPO.

SIMULATING POTATO (*Solanum tuberosum* L.) DEVELOPMENT IN THE FIELD.

RESUMO

A batata ocupa o quarto lugar em volume de produção mundial de alimentos, sendo superada apenas pelo trigo, arroz e milho. Desenvolvimento e crescimento são processos independentes que podem ocorrer simultaneamente ou não. A simulação do desenvolvimento das culturas agrícolas é importante em modelos de crescimento e rendimento, pois a partição dos fotoassimilados para os diferentes órgãos da planta varia em função do estágio de desenvolvimento. Modelos de simulação de desenvolvimento podem auxiliar também na melhor escolha da cultivar, controle de pragas e doenças e no manejo mais adequado de uso de fertilizantes e programação da colheita. O objetivo deste trabalho foi construir e avaliar um modelo matemático para simular o desenvolvimento da cultura da batata, que seja superior aos modelos existentes, que usam a soma térmica, tanto do ponto de vista biológico quanto do ponto de vista da simulação da data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento. Experimentos de campo foram conduzidos em Santa Maria, RS com 15 épocas de plantio, 9 épocas no ano de 2003 (21/01; 12/02; 28/02; 27/03; 12/08; 15/09; 15/10; 20/11e 24/12) e 6 épocas no ano de 2004 (28/01; 27/02; 26/03; 26/04; 31/05 e 26/08). O delineamento utilizado foi blocos ao acaso, com 4 repetições, e as parcelas tinham 3,0 x 3,0 m e foram constituídas por 4 linhas de plantas distanciadas 0,75 m entre linhas, 0,33 m entre plantas, totalizando 40 plantas. O modelo de desenvolvimento proposto foi superior ao método da soma térmica, com valor de RMSE médio (Raiz quadrada do quadrado médio do erro) = 10,41 dias. A simulação da data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento foi melhor no início do ciclo de desenvolvimento (início da tuberização, RMSE=3,7 dias) do que no final do ciclo (colheita, RMSE= 14,02dias). Conclui-se que o modelo

proposto é superior ao método da soma térmica, utilizada nos modelos de batata descritos na literatura.

Palavras chave: *Solanum tuberosum* L., soma térmica, fotoperíodo, modelo, fenologia.

ABSTRACT

Potato is the fourth crop in the of worldwide food production, being overcome only by wheat, rice and corn. Development and growth are independent processes that can occur simultaneously or not. The simulation of crop developmental stages is an important part of crop models, because the partitioning of photosintates to different organs varies with the developmental stage. Developmental models can also help in breeding programs, to control pests and disease, in managing fertilizers application and programming harvest of the crop. The objective of this work was to propose and evaluate a mathematical model to simulate potato development that is superior to the existent models, which use thermal time, both biologically and from a simulation point of view. Field experiments were carried out at Santa Maria RS, Brazil, with fifteen planting date: 9 in the year of 2003 (21/01; 12/02; 28/02; 27/03; 12/08; 15/09; 15/10; 20/11e 24/12) and 6 in the year of 2004 (28/01; 27/02; 26/03; 26/04; 31/05 and 26/08). The experimental design was a complete randomized block design with four replications. Plots were 3.0 x 3.0 m in size and consisted of 4 lines of plants with 3.0 m length and 0.75m among them. The distance between plants was 0.33m, with 40 plants/plot. The proposed developmental model was superior to the thermal time approach with an average RMSE of 10.41 days. Model predictions were better for earlier developmental stages (tuber initiation, RMSE=3.7 days), than for later developmental stages (harvest, RMSE= 14.02 days). We concluded that the proposed model is superior to the thermal time approach, which is currently used in the models described in the literature.

Key word: *Solanum tuberosum* L., thermal time, photoperiod, model, phenology.

INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.), família Solanaceae, é originária da Cordilheira dos Andes, e ocupa o 4º lugar em volume de produção mundial de alimentos, sendo superada apenas pelo trigo, arroz e milho (LOPES & BUSO, 1997). A produção da batata no Brasil concentra-se nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, sendo estes Estados responsáveis por aproximadamente 98% da produção nacional (IBGE, 2003). A área cultivada com batata no Brasil é de aproximadamente 150 mil/ha, e a produtividade média no ano de 2000 foi de 20,5 ton ha⁻¹ (IBGE, 2003).

Desenvolvimento e crescimento vegetal são processos independentes que podem ocorrer simultaneamente ou não. Desenvolvimento refere-se a diferenciação celular e iniciação de órgãos, eventos relacionados ao tempo (tempo biológico), enquanto que crescimento refere-se ao aumento irreversível de massa, área, volume, altura, comprimento ou diâmetro de órgãos (HODGES, 1991). A simulação do desenvolvimento vegetal é uma importante parte em modelos de crescimento e rendimento das culturas agrícolas. Como exemplo desta importância tem-se que a partição dos fotoassimilados para os diferentes órgãos da planta varia em função do estágio de desenvolvimento (PENNING DE VRIES et al., 1989; GOUDRIAN & VAN LAR, 1994). Modelos de simulação de desenvolvimento são importantes também em programas de melhoramento para auxiliar na escolha da cultivar, no controle de pragas e doenças, no manejo mais adequado de uso de fertilizantes e na programação da colheita (JOHNSON et al., 1986; JOHNSON et al., 1987; CONNELL et al., 1999).

A temperatura e o fotoperíodo são considerados os dois principais fatores abióticos que governam o desenvolvimento da cultura da batata (LEVY & KEDAR, 1985). A batata é uma planta de dia curto para início de tuberização, e de dia longo e ou neutra para florescimento, ou seja, dias curtos aceleram o início de tuberização e dias longos aceleram o florescimento (LEVY & KEDAR, 1985). Estes fatores são representados em modelos matemáticos de simulação do desenvolvimento das culturas por funções de respostas à temperatura e fotoperíodo (STRECK et al., 2003).

Existem vários modelos de simulação de desenvolvimento da batata na literatura, entre eles os modelos de SANDS et al. (1979); INGRAM & MCCLOUD (1984), MACKERRON & WAISTER (1985), JOHNSON et al. (1986), HARTZ & MOORE (1978), HODGES (1992), HODGES et al. (1992) e CONNEL et al. (1999). Estes modelos apresentam algumas desvantagens. Uma desvantagem é que esses modelos levam em conta o conceito da soma térmica acumulada acima da temperatura base, para explicar o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento da cultura da batata. O método da soma térmica pode ser superior ao uso de dias do calendário civil (dia do ano ou dias após o plantio) como medida de tempo biológico (GILMORE & ROGERS, 1958 ; RUSSELE et al., 1984; MCMASTER & SMIKA, 1988), mas certamente não é o método mais adequado do ponto de vista biológico para descrever o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento das culturas, devido à pressuposição de que a resposta da taxa de desenvolvimento é linear à temperatura. Processos biológicos tem resposta não linear a temperatura (SHAYKEWICH, 1995; STRECK, 2002). Além disso, o método da soma térmica nem sempre é melhor do que dias do calendário civil (MAJOR et al., 1975; SENTELHAS & UNGARO, 1998).

Outra desvantagem é que esses modelos também consideram que as temperaturas cardinais de desenvolvimento são constantes da emergência à colheita. As temperaturas cardinais não são constantes ao longo do ciclo da cultura (STRECK et al., 2003). Os modelos de batata existentes usam os métodos aditivos para descrever a relação entre desenvolvimento vegetal e fatores do ambiente. Métodos multiplicativos representam as interações entre fatores ecológicos sobre o desenvolvimento vegetal de forma mais realística (STRECK et al., 2003). Uma outra desvantagem dos modelos de batata existentes é que não consideram o efeito do fotoperíodo sobre o desenvolvimento. Essas desvantagens constituíram o incentivo para construir um modelo de desenvolvimento da batata melhor do que os modelos existentes baseado no conceito da soma térmica.

O objetivo deste trabalho foi construir e avaliar um modelo matemático para simular o desenvolvimento da cultura da batata, que seja superior aos modelos existentes que utilizam a soma térmica, tanto do ponto de vista biológico quanto do ponto de vista da predição da data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do modelo:

No modelo proposto, o ciclo de desenvolvimento da batata é dividido em três fases (LOPES & BUSO, 1997; KOOMAN et al., 1996): fase vegetativa, que vai da emergência (EM) ao início da tuberização (IT); a fase de tuberização, que vai do início da tuberização ao início da senescência (IS); e a fase de senescência, que vai do início da senescência a colheita (CO) (Figura 1). O primeiro passo do modelo é calcular a taxa diária de desenvolvimento (r). Para o cálculo do estágio de desenvolvimento (DS) em que a planta se encontra, acumula-se os valores da taxa diária de desenvolvimento, ou seja $DS = \sum r$. Na EM $DS = 0$, no IT $DS = 1$, no IS $DS = 1,8$ e na CO $DS = 2$. A forma geral do modelo é:

$$r = r_{\max,v} \cdot f(T) \cdot f(P) \quad (1)$$

para a fase vegetativa (EM-IT)

$$r = r_{\max,t} \cdot f(T) \quad (2)$$

para a fase de tuberização (IT-IS)

$$r = r_{\max,s} \cdot f(T) \quad (3)$$

para fase de senescência (IS-CO)

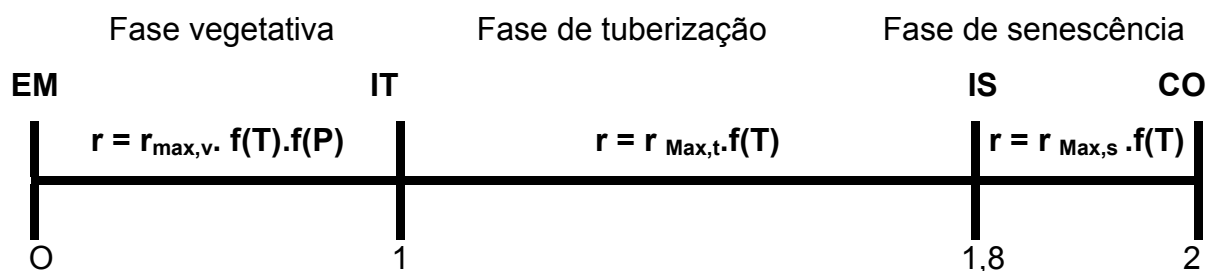


FIGURA 1 - Representação esquemática do ciclo de desenvolvimento da batata e do modelo matemático proposto. EM= emergência, IT= início da tuberização, IS= início da senescência, CO= Colheita. Santa Maria, RS, 2003-2004

Onde r é a taxa diária de desenvolvimento (dia^{-1}), $r_{\max,v}$, $r_{\max,t}$ e $r_{\max,s}$ são as taxas máximas diárias de desenvolvimento (dia^{-1}) na fase vegetativa, tuberização e

senescência, respectivamente, e $f(T)$ e $f(P)$ são funções de resposta á temperatura e ao fotoperíodo variando de 0 a 1, respectivamente.

A função de resposta à temperatura [$f(T)$] é uma função beta (WANG & ENGEL, 1998; STRECK et al., 2002; STRECK et al., 2003), definida como :

$$F(T) = \frac{[2(T-T_{\min})^\alpha (T_{\text{opt}}-T_{\min})^\alpha - (T-T_{\min})^{2\alpha}]}{(T_{\text{opt}}-T_{\min})^{2\alpha}} \quad (4)$$

$$\alpha = \ln 2 / \ln [(T_{\max}-T_{\min}) / (T_{\text{opt}}-T_{\min})] \quad (5)$$

em que T_{\min} , T_{opt} e T_{\max} são as temperaturas cardinais de desenvolvimento e T é a temperatura média diária calculada pela média aritmética da temperatura mínima e máxima diária. Na fase vegetativa a T_{\min} foi definida como 4°C (HARTZ & MOORE, 1978) e T_{opt} e T_{\max} foram definidos como 15 e 28°C, respectivamente (INGRAM & MCCLOUD, 1984). Na fase de tuberização as temperaturas cardinais T_{\min} , T_{opt} e T_{\max} , foram definidas como 7, 21 e 30°C, respectivamente (SANDS et al., 1979 ; MANRIQUE & HODGES, 1989). Não foram encontrados na literatura valores para as temperaturas cardinais de desenvolvimento durante a senescência das plantas. Baseado em discussões com pessoas ligadas a produção de batata, assumiu-se que na fase de senescência as temperaturas cardinais são as mesmas da primeira fase (EM-IT), ou seja $T_b = 4^\circ\text{C}$, $T_{\text{opt}} = 15^\circ\text{C}$ e $T_{\max} = 28^\circ\text{C}$. Esta diminuição das temperaturas cardinais é realística pois em regiões temperadas o ciclo de desenvolvimento da batata ocorre similarmente às culturas de verão, ou seja, inicia na primavera, se estende pelo verão e a fase de senescência ocorre no início do outono, quando as temperaturas do ar iniciam a diminuir. Em espécies de verão como milho e a soja, as temperaturas cardinais de desenvolvimento são menores no final do ciclo em relação às fases iniciais e intermediárias (PENNING de VRIES et al., 1989). As curvas da $f(T)$ com as respectivas temperaturas cardinais das três fases de desenvolvimento estão representado na (Figura 2).

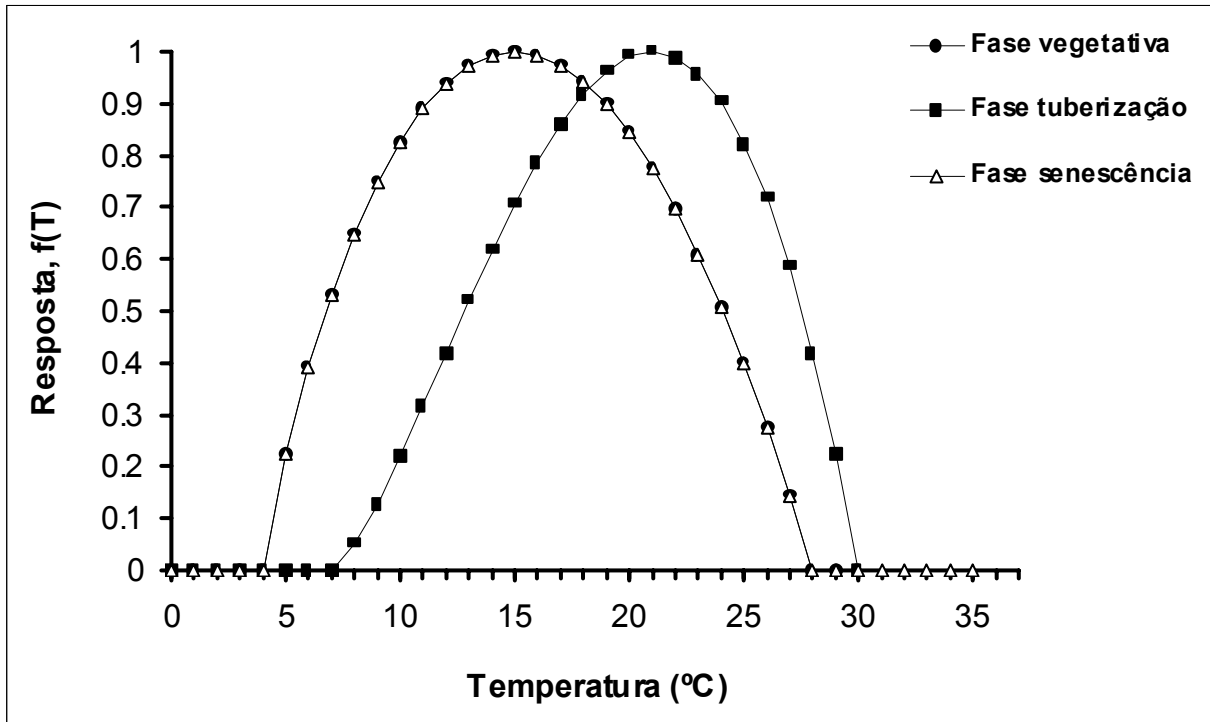


FIGURA 2 - Função de resposta a temperatura [f(T)], eq. 4, para a fase vegetativa , fase tuberação e fase de senescência de desenvolvimento da batata cultivar Asterix. Santa Maria, RS, 2003-2004.

A função de resposta ao fotoperíodo [f(P)] é uma função exponencial negativa.

$$f(P) = \exp[-\omega(P-P_c)] \quad (6)$$

onde ω é o coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo (h^{-1}), que depende da cultivar , P é o fotoperíodo (h) e P_c é o fotoperíodo crítico, abaixo do qual a resposta é máxima (h). O fotoperíodo (P) incluindo o crepúsculo civil (quando o sol está entre 0 a 6° abaixo do horizonte), foi calculado com o algoritmo de KIESLING (1982). O valor estimado de P_c foi 10,7 h e o valor estimado de ω foi 0,0645 h^{-1} para cultivar Asterix. Com estes valores, a curva de f(P) está representada na Figura 3.

]

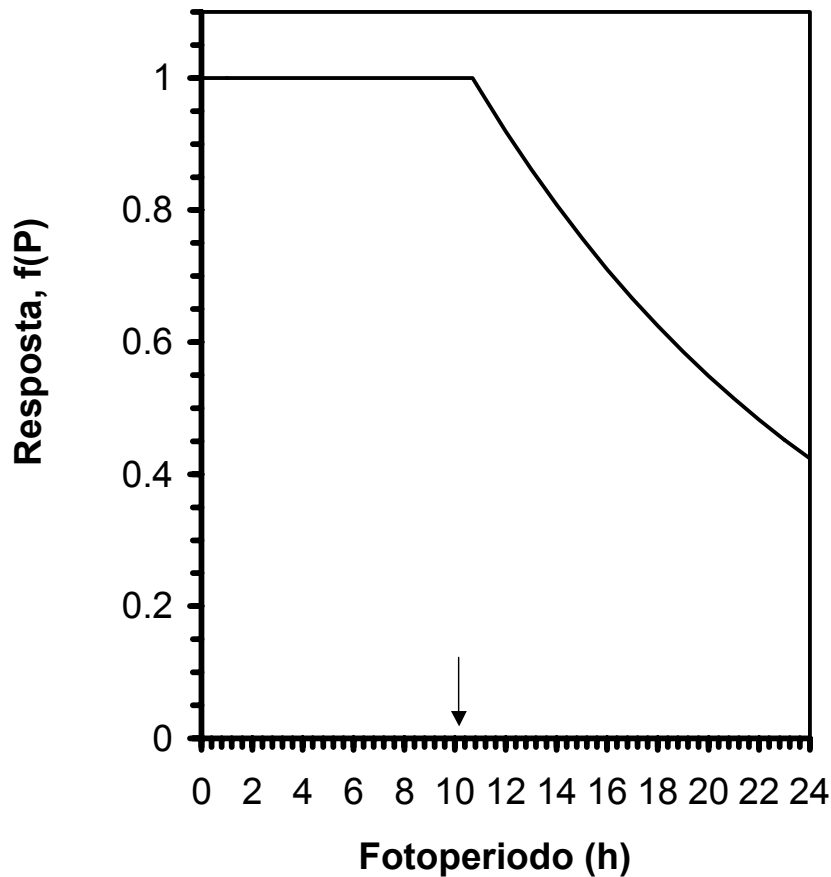


FIGURA 3 -. Função de resposta ao fotoperíodo [f(P)], eq. 6, da batata cultivar Asterix. A seta representa o fotoperíodo crítico estimado para esta cultivar. Santa Maria, RS, 2003-2004

A estimativa dos valores de $r_{\max,v}$, $r_{\max,t}$, $r_{\max,s}$, ω e PC foi com o procedimento SAS-NLIN (SAS Institute, Inc., 2001) usando-se o método de Marquardt, o qual minimiza a soma dos quadrados do erro. Para estimativa dos coeficientes do modelo foram utilizados os dados de temperatura e fotoperíodo e as datas de EM, IT, IS e CO das épocas de plantio 3, 4, 5, 6, 7 e 8 (Tabela 1). Estas épocas foram escolhidas para estimar os coeficientes do modelo por terem sido realizadas em diferentes épocas do ano, resultando a planta se desenvolvendo em condições ambientais distintas. Os valores estimados de $r_{\max,v}$, $r_{\max,t}$, $r_{\max,s}$, foram 0,0793, 0,0260 e 0,012074/dia, respectivamente.

Experimentos de campo:

Experimentos de campo foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil (latitude: 29° 43`S, longitude: 53° 41`W e altitude: 95 m). Santa Maria está localizada na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul. O clima da região, segundo a classificação Köppen, é Cfa Subtropical úmido sem estação seca definida com versões quentes (MORENO, 1961). O solo representativo do local é um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico e pertence à unidade de Mapeamento São Pedro (EMBRAPA, 1999).

TABELA 1 - Datas das épocas de plantio e de ocorrência da emergência (EM), início da tuberização (IT), início da senescência (IS) e colheita (CO) da batata cultivar Asterix, utilizada no estudo. Santa Maria, RS, 2003/2004.

Épocas	Data de plantio	Data de EM	Data de IT	Data de IS	Data de CO
1	21/01/2003	13/02/2003		17/03/2003	16/05/2003
2	12/02/2003	25/02/2003		24/04/2003	23/05/2003
3	28/02/2003	11/03/2003	26/03/2003	24/04/2003	16/05/2003
4	27/03/2003	07/04/2003	23/04/2003	03/06/2003	21/06/2003
5	12/08/2003	12/09/2003	24/09/2003	08/11/2003	16/12/2003
6	15/09/2003	06/10/2003	28/10/2003	11/12/2003	06/01/2004
7	15/10/2003	03/11/2003	22/11/2003	27/12/2003	15/01/2004
8	20/11/2003	08/12/2003	07/01/2004	24/01/2004	10/02/2004
9	24/12/2003	27/01/2004	01/03/2004	21/03/2004	10/04/2004
10	28/01/2004	15/02/2004	17/03/2004	07/04/2004	20/04/2004
11	27/02/2004	14/03/2004	03/04/2004	21/04/2004	10/05/2004
12	26/03/2004	10/04/2004	29/04/2004	09/06/2004	01/07/2004
13	26/04/2004	06/05/2004	22/05/2004	27/06/2004	08/07/2004
14	31/05/2004	12/06/2004	30/06/2004		
15	26/08/2004	06/09/2004	21/09/2004		

Os tubérculos que foram utilizados nos experimentos possuíam alta qualidade fitossanitária e fisiológica, e foram adquiridos através da Associação dos Produtores de Batata Semente da Quarta Colônia Italiana (ASBAT). Estes tubérculos-semente foram produzidos a partir de minitubérculos livres de vírus pelo Programa de Melhoramento Genético do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de

Santa Maria. Foram realizadas 15 épocas de plantio , 9 épocas no ano de 2003 e 6 épocas em no ano 2004 (Tabela 1). A adubação seguiu as recomendações da análise de solo (adubação de base: 105kg/ha de N; 165 kg/ha de P; 135 kg/ha de K e 45kg/ha de N de adubação de cobertura) e foram feitas irrigações durante o ciclo de desenvolvimento nas épocas 8, 9 e 10 com o objetivo de evitar estresse devido a falta de água no solo.

Os tratos culturais, amontoa e aplicação de nitrogênio, foram realizadas após o início da tuberização, para não haver interferência do nitrogênio no início da tuberização, já que na literatura são encontrados relatos que o nitrogênio em excesso pode retardar o início da tuberização (WESTERMANN & KLEINKOPF, 1985)

As parcelas tinham 3,0 x 3,0 m e foram constituídas por 4 linhas de plantas distanciadas 0,75 m entre si e com 3,0 m de comprimento. As plantas foram distanciadas 0,33 m entre si na linha. O delineamento utilizado foi blocos ao acaso, com 4 repetições. A área útil do experimento foi as duas fileiras centrais. Três plantas em cada uma das duas linhas centrais das parcelas foram selecionadas ao acaso e etiquetadas. Estas plantas etiquetadas foram usadas na determinação da senescência e colheita. O dia da emergência (EM) foi considerado quando 50% das plantas na parcela estavam visíveis acima do solo (SANDS et al., 1979).

O início da tuberização (IT) foi determinado coletando-se 8 plantas (2 plantas de cada parcela) diariamente nas linhas da bordadura. O IT foi considerado quando 50% das plantas amostradas apresentavam pelo menos 1 tubérculo com 1 cm de diâmetro (SANDS et al., 1979; MANRIQUE & HOGES, 1989; OLIVEIRA, 2000). Após a avaliação para IT, as plantas amostradas foram repostas para compor a bordadura. Início da senescência (IS) foi considerado quando 50% das plantas etiquetadas na parcela estavam no estágio 81 da escala desenvolvimento da batata de BATZ et al.(1980). O ponto de colheita (CO) foi considerado quando 100% das plantas etiquetadas na parcela completaram o estágio 89 da escala de desenvolvimento de BATZ et al. (1980). Nas épocas 1 e 2 não foi observado a data de IT. Nas épocas 14 e 15 não foram observadas as datas de IS-CO.

Os dados de temperatura mínima e máxima diária do ar a 1,5m no interior do abrigo meteorológico durante o período experimental foram coletados na Estação Climatológica Principal pertencente ao 8º DISME/INMET localizada a aproximadamente 200 metros da área experimental.

Avaliação do modelo:

Para avaliação do modelo foram comparadas as datas de IT, IS e CO simuladas e observadas nas épocas 1, 2, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 que são dados independentes.

O modelo proposto foi comparado com o método da soma térmica, calculada por três métodos. A soma térmica diária (STd) foi calculada por (GILMORE & ROGERS, 1958; ARNOLD, 1960).

Método 1: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia, se $T_{med}<T_b$ então $T_{med}=T_b$(7)

Método 2: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia, se $T_{med}<T_b$ então $T_{med}=T_b$ e se $T_{med}>T_{tot}$, então $T_{med}=T_{opt}$(8)

Método 3: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia quando $T_b<T_{med}\leq T_{tot}$ e $ST=(T_{tot}-T_b)\cdot(T_{max}-T_{med})/(T_{max}-T_{tot})$ quando $T_{tot}<T_{med}\leq T_{max}$(9)

onde: **T_b** é a temperatura base, **T_{tot}** é a temperatura ótima e **T_{max}** é a temperatura máxima para o desenvolvimento da batata, as mesmas consideradas no modelo para as diferentes fases do ciclo de desenvolvimento. A representação da concepção de cálculo dos três métodos de soma térmica está na Figura 4

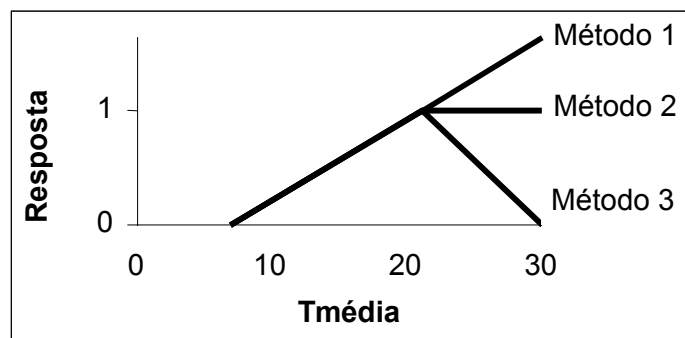


FIGURA 4 - Representação esquemática dos três métodos de cálculo da soma Térmica usados no estudo. Santa Maria, RS, Brasil, 2003/2004

As épocas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 foram utilizadas para obter os valores de soma térmica para as três fases do desenvolvimento da batata (Apêndice A).

A estatística utilizada para avaliar a performance do modelo e dos métodos da soma térmica foi a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE), calculado como (JANSSEN & HEUBERGER, 1995):

$$\text{RMSE} = [\sum(p_i - o_i)^2 / N]^{0.5} \dots\dots\dots(10)$$

Em que: p_i = dados simulados, o_i = dados observados e N = número de observações. A unidade de RMSE é a mesma de p_i e o_i , ou seja, dias. Quanto menor o RMSE, melhor é a performance do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre duração das diferentes fases do ciclo de desenvolvimento da batata cv. Asterix, e a temperatura média do ar durante estas fases é apresentada na Figura 5. A duração do ciclo total de desenvolvimento nas diferentes épocas variou de 60 a 98 dias e não teve relação com a temperatura do ar (Figura 5a). Isto ocorreu porque as fases EM-IT e IT-IS tem relação oposta com a temperatura do ar (Figura 5b e 5c), anulando o efeito da temperatura do ar sobre o ciclo total. Como a duração da fase IS-CO teve uma relação muito fraca com a temperatura do ar (Figura 5d), o resultado é que a duração do ciclo total também não teve relação com a temperatura. Estes resultados mostram a complexidade da resposta do ciclo do desenvolvimento da batata à fatores ecológicos. A relação positiva entre a temperatura do ar e duração da fase EM-IT é devido ao efeito do fotoperíodo sobre a duração desta fase, qual se alonga em fotoperíodos longos (LEVY & KEDAR, 1985). No campo, em Santa Maria, fotoperíodos longos estão associados a dias com elevada temperatura do ar.

Houve variação nas condições ambientais durante o ciclo de desenvolvimento da batata nas épocas de plantio utilizadas como dados independentes (Tabela 2). Por exemplo, a temperatura média do ar durante as fases EM-IT, IT-IS e IS-CO variou de 15,7 a 24,3°C, de 15,5 a 23,9°C e de 17,6 a 24,0°C, respectivamente. Esta variação das condições ambientais entre épocas é importante na avaliação de modelos matemáticos.

A comparação entre datas observadas e simuladas dos principais estágios de desenvolvimento (IT, IS e CO) da batata cultivar Asterix pelo modelo de desenvolvimento proposto e pelos três métodos de cálculo de soma térmica é ilustrado na Figura 6. A simulação das datas de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento foi melhor com o modelo proposto (RMSE=10,4 dias) do que com os métodos da soma térmica, pois os pontos estão mais próximos da linha 1:1 com o método proposto. Entre os métodos da soma térmica, o menor RMSE foi com

o método 2 (RMSE=14,4 dias) comparado ao método 1 (RMSE=19,1 dias) e 3 (RMSE= 15,0 dias).

TABELA 2.- Valores médios de temperatura média diária do ar, fotoperíodo e de precipitação acumulada durante o ciclo da cultura da batata cv. Asterix, das várias épocas de plantio utilizadas como dados independentes para avaliar o modelo de simulação do desenvolvimento da cultura. Santa Maria, RS, 2003 – 2004.

Épocas	Temperatura (°C)		Fotoperíodo (h)			Precipitação (mm)			
	EM-IS	IS-CO	EM-IS	IS-CO		EM-IS	IS-CO		
1	22,4	19,1	13,1	11,8		537,4	180,0		
2	22,1	19,6	12,8	11,6		420,4	207,7		
	EM-IT	IT-IS	IS-CO	EM-IT	IT-IS	IS-CO	EM-IT	IT-IS	IS-CO
9	24,3	23,9	24,0	14,0	13,2	12,6	112,6	94,1	25,6
10	23,6	23,9	23,6	13,5	12,7	12,2	99,8	9,2	54,3
11	23,5	23,9	18,2	12,8	12,3	11,8	84,9	63,5	90,3
12	21,1	15,5	17,6	12,1	11,4	11,1	151,0	223,8	98,0
13	15,7	15,5	17,7	11,5	11,2	11,2	55,3	90,7	30,2
14	17,3			11,1			30,3		
15	19,0			12,5			85,1		

Como a batata é responsiva ao fotoperíodo na fase de EM-IT (KOOMAN et al.,1996), foi incluído o fotoperíodo no cálculo da soma térmica na fase EM-IT, conforme a metodologia proposta por NUTTONSON (1955) citado por PASCALE & DAMARIO (2004). No entanto, a inclusão do fotoperíodo aumentou ainda mais o RMSE (Tabela 3).

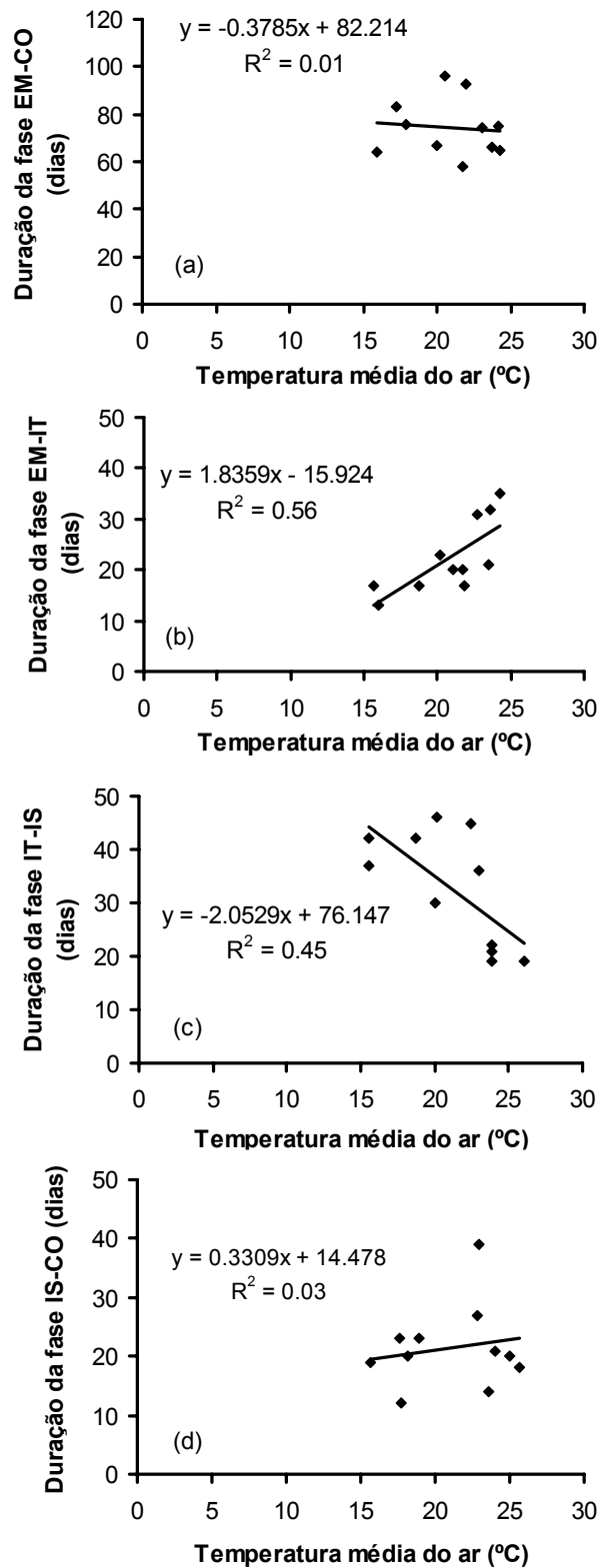


FIGURA 5 – Relação entre duração das diferentes fases do desenvolvimento da batata cv. Asterix e temperatura média do ar durante as fases. EM= emergência, IT= início da tuberação, IS= início da senescência e CO= colheita. Santa Maria, RS, 2003-2004.

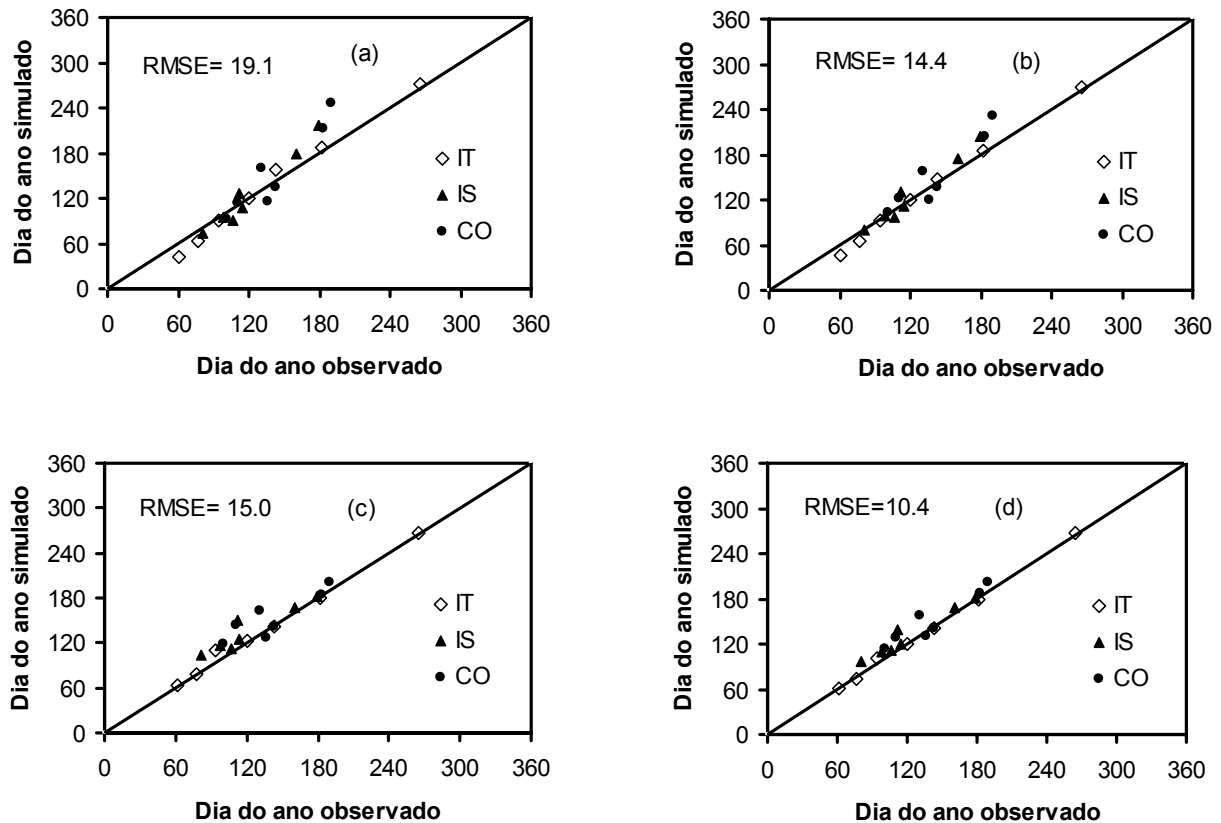


FIGURA 6 - Dia do ano simulado versus observado, para início de tuberização (IT), início de senescência (IS) e colheita (CO) da batata cultivar Asterix , pelo método 1 (a), método 2 (b), método 3 (c) de cálculo da Soma Térmica, e pelo modelo de desenvolvimento proposto neste trabalho (d). Santa Maria, RS, 2003-2004.

TABELA 3 - Valores de RMSE para os métodos da soma térmica com e sem o efeito do fotoperíodo incluído no cálculo. Santa Maria, RS, 2003-2004.

	RMSE *	RMSE **
MET 1	19,12	21,70
MET 2	14,41	15,84
MET 3	15,02	14,80

*sem fotoperíodo

** com fotoperíodo

Considerando-se os estágios de desenvolvimento separadamente, a simulação da data de ocorrência foi piorando a medida que o ciclo de desenvolvimento foi avançando, tanto pelo modelo proposto como pelos métodos de soma térmica. O RMSE pelo modelo proposto para prever o início da tuberização

(IT), o início da senescência (IS) e a colheita (CO) foi de 3,70, 13,50 e 14,02 dias , respectivamente, enquanto que pelos métodos de soma térmica, o RMSE para todos os estágios de desenvolvimento foi maior (Tabela 4)

TABELA 4 - Valores de RMSE (dias) para as fases de IT, IS e CO pelo modelo proposto e pelos três métodos de cálculo da soma térmica. Santa Maria, RS, 2003-2004.

	Modelo	MET. 1	MET. 2	MET. 3
IT	3,7	10,91	7,75	6,31
IS	13,5	18,27	13,70	19,27
CO	14,02	28,17	21,77	19,46

Os resultados desse estudo mostraram uma melhora média de 55,46% no RMSE pelo modelo proposto comparado aos métodos da soma térmica para prever a data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento da cultura da batata cultivar Asterix, o que indica que o modelo proposto é superior ao método de cálculo da soma térmica. O modelo de desenvolvimento utilizado neste trabalho também teve uma boa performance na predição de estágios de desenvolvimento de trigo de inverno com uma melhora no RMSE de 45% para as cultivares Arapahoe e Karl 92, respectivamente (STRECK et al., 2003).

O modelo proposto é preferido em relação à soma térmica não apenas por melhorar a estimativa da data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento, mas também por ser mais realístico do ponto de vista biológico, pois é composto de funções de resposta não lineares, ao contrário da soma térmica que utiliza uma relação linear entre temperatura e desenvolvimento. A resposta da planta a fatores ecológicos é não linear (BONHOMME, 2000; YIN et al, 1995; GRANIER & TARDIEU, 1998). No método da soma térmica também foram utilizadas temperaturas cardinais diferentes ao longo do ciclo (as mesmas do modelo proposto) e ainda assim a estimativa não foi melhor do que o modelo não linear proposto, indicando que a não linearidade da resposta à temperatura é um aspecto positivo do modelo proposto. Além disso, a pouca relação entre a duração de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata com temperatura do ar (Figura 5a e 5d) e a relação oposta entre a duração da fase EM-IT e IT-IS com a temperatura do ar (Figura 4b e

4c) mostra pouca esperança de que um índice térmico simples como a soma térmica possa prever satisfatoriamente a data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento desta cultivar de batata. Portanto, o objetivo do trabalho foi alcançado com a construção de um modelo matemático para simular o desenvolvimento da cultura da batata superior aos modelos existentes, tanto do ponto de vista biológico quanto do ponto de vista da simulação da data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento.

A predição do IT pelo modelo proposto foi muito boa, pois o RMSE foi de apenas 3,7 dias. Este estágio de desenvolvimento é importante, pois práticas de manejo como adubação nitrogenada de cobertura e amontoa devem ser feitas no IT (LOPES & BUSOS, 1997). Como no campo a determinação do IT exige arrancar as plantas, o uso do modelo matemático contribui e facilita sua identificação, o que é um avanço. No entanto, a predição de estágios de desenvolvimento após o IT não foi tão boa com o modelo (RMSE foi de 13,5 e 14,0 para IS e CO), o que certamente é um incentivo para a realização de um futuro esforço científico no sentido de modificar o modelo proposto para melhorar sua performance na predição destes estágios de desenvolvimento da batata.

CONCLUSÃO

A predição dos principais estágios de desenvolvimento da batata cv. Asterix, a campo foi melhorada com o modelo de desenvolvimento proposto neste trabalho em relação ao método da soma térmica. A RMSE (Raiz quadrada do quadrado médio do erro) para todos os estágios de desenvolvimento foi 10,41 dias, sendo superior ao método soma térmica em 55,46%. A melhora na predição em relação ao método da soma térmica foi principalmente na fase de EM-IT com RMSE de 3,7 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, C.Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. **American Society for Horticultural Science**, Boston, v.76, p. 682-692, 1960.

BÄTZ, W., et al. **Entwicklungsstadien der kartoffel**. **Belin**: Biologische Bundesanstalt für land-und forstwirtschaft, Merkblatt Nr. 27/5, 1980.

BONHOMME, R. Bases and limits to using 'degree.day' units. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, n.1, p. 1-10, 2000.

CONNEL, T.R.; BINNING, L.K.; SCHMITT, W.G. A canopy development model for potatoes. **American Journal of Potato Research**, Orono, v.76, n.3, p. 153-159, 1999.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília:Embrapa Produções de informações, 1999.412p.

GILMORE, E.C.Jr.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, n. 10, p. 611-615, 1958.

GOUDRIAN, J.; VAN LAR, H.H. **Modeling potential crop growth processes**. Dordrecht: Kluwer, 1994.238p.

GRANIER, C.; TARDIEU, F. Is thermal time adequate for expressing the effects of temperature on sunflower leaf development? **Plant, Cell and Environment**, France, v.21, p.695 – 703, 1998.

HARTZ, T.K.; MOORE, F.D. Prediction of potato yield using temperature and insolation data. **American Potato Journal**, Orono, v. 55, n. 7, p. 431-436, 1978.

HODGES.T. FORTRAN graphic libraries for PC-based crop simulation models. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.1, p. 124-128, 1992.

HODGES.T.; JOHNSON, S.L.; JOHNSON, B.S.A. A modular structure from crop simulation models: Implemented in the potato model. **Agronomy Journal**, Madison v.84, n.5, p.911-915, 1992.

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

IBGE, DPE, DEAGRO – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, confronto das safras de 2003 e das estimativas para 2004 Disponível em: <<http://www.IBGE.com.br>>. Acesso em: 22 nov. 2004

INGRAM, K.T.; MCCLOUD, D.E. Simulation of potato growth and development. **Crop Science**, Madison, v.24, n.1, p. 21-27, 1984.

JANSSEN, P.H.M.; HEUBERGER, P.S.C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 55-56, 1995.

JEFFERIES, R.A.; MCKERRON, D.K.L. Thermal time as a non-destructive method of estimating tuber initiation in potatoes. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.108, p. 249-252, 1987.

JOHNSON, K.B.; JOHNSON, S.B.; TENG, P.S. Development of a simple potato growth model for use in crop-pest management. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 19, n. 3, p. 189-209, 1986.

JOHNSON, K.B.; TENG, P.S.; RADCLIFFE, E.B. Coupling feeding effects of potato leafhopper, *Empoasca fabae* (Homoptera: Cicadellidae), nymphs to a model of potato growth. **Environmental Entomology**, College Park, v.16, n. 1, p. 250-258, 1987.

KIESLING, T. C. calculation of the length of the day. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 758-759, 1982.

KOOMAN, P.L.; FAHEM, M.; TEGERA, P.; HAVERKORT, A.J. Effects of climate on different potato genotypes 2. Dry matter allocation and duration of the growth cycle. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.5, p. 207-217, 1996.

LEVY, D.; KEDAR, N. **Solanum tuberosum**. In: HALEVY, A.H. CRC Handbook of flowering – Vol. IV. Boca Raton: CRC, 1985, p. 363-366.

LOPES, C.A.; BUSO, J.A., **Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Embrapa Hortaliças, Brasília: Instruções técnicas da Embrapa Hortaliças- 8, 1997, 36p.

MACKERRON, D.K.L.; WAISTER, P.D. A simple model of potato growth and yield. I: Model development and sensitivity analysis. **Agricultural and forest Meteorology**, Amsterdam, v. 34, n.2-3, p. 241-252, 1985.

MANRIQUE, L.A.; HODGES, T. Estimation of tuber initiation in potatoes grown in tropical environments based on different methods of computing thermal time. **American Potato Journal**, Orono, v. 66, p. 425-436, 1989.

MCMASTER, G.S.; WILHELM, W.W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v. 87, p. 291–300, 1997.

MENDONÇA, R.S., et al. I simposio de batata da Região de Alfenas.. Disponível em: < <http://www.MinasGerais.com.br> > Acesso em 10 nov. 2003

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.46p.

OLIVEIRA, C.A.S. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.5, p. 939- 950, 2000.

PENNING de VRIES, F.W.T. et al. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops**. Wageningen: Pudoc, 1989. 271p.

PEREIRA, S.A.; DANIELS.J. **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**, 1 ed. Pelotas, Embrapa, 2003. Parte 2: Planta: p. 80- 104

SANDS, P.J.; HACKETT, C.; NIX, H. A. A model of the development and bulking of potatoes (*Solanum tuberosum L.*). 1- Derivation from well-managed field crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 2, n. 4, p. 309-331, 1979.

SAS Institute, Inc.. **SAS-STAT, Users Guide, Version 8.0** (8th ed.). SAS Institute, Cary, NC. 2001.

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

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

STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; STEPHEN, B.P. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. **Agricultural and Florest Meteorology**, Amsterdam, n. 115, p.139-150, 2003

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

WESTERMANN, D.T., KLEINKOPF, G.E., Nitrogen requirements of potatoes. **Agronomy Journal**, Madison, v.77. p. 616 – 621, 1985.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A soma térmica variou em função da época de plantio e método de cálculo nas diferentes fases de desenvolvimento da batata, limitando sua utilização como medida de tempo fisiológico.

A predição dos principais estágios de desenvolvimento foi melhorado em 55,46% pelo modelo proposto em relação aos métodos da soma térmica em condições de campo.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Épocas utilizadas para estimar os valores da soma térmica, para avaliar a simulação da data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento pelo método de cálculo da soma térmica. Santa Maria, RS, 2003-2004.

ÉPOCAS	Método 1			Método 2			Método 3		
	EM-IT	IT-IS	IS-CO	EM-IT	IT-IS	IS-CO	EM-IT	IT-IS	IS-CO
3	284,7	391,7	342,2	176,0	366,1	246,5	84,1	326,8	165,5
4	251,2	491,2	220,6	186,6	459,5	197,1	131,9	408,8	177,2
5	156,1	603,0	355,7	129,7	559,2	429,0	107,4	490,9	169,4
6	373,3	693,0	507,5	249,6	595,8	297,0	144,9	444,5	119,0
7	354,8	576,5	419,1	220,0	491,9	220,0	106,5	360,2	51,6
8	580,0	343,0	388,6	341,0	252,0	198,0	138,8	110,4	36,7
Média	333,4	516,4	372,3	217,2	454,1	264,6	118,9	356,9	119,9
DP	143,82	133,08	94,79	73,04	127,41	88,75	23,41	134,17	62,29