



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

EVERTON YOSHIAKI HIRAOKA

**MODELO PARA PREVISÃO DO FLORESCIMENTO NA  
CULTURA DA SOJA**

---

Londrina  
2011

EVERTON YOSHIAKI HIRAOKA

**MODELO PARA PREVISÃO DO FLORESCIMENTO NA  
CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Inês Cristina de Batista Fonseca

Co-Orientador: Dr. Luis Fernando Alliprandini

Londrina  
2011

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

H668m Hiraoka, Everton Yoshiaki

Modelo para previsão do florescimento na cultura da soja. / Everton Yoshiaki Hiraoka – Londrina, 2010. 61 f.

Orientador: Inês Cristina de Batista Fonseca

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Estudos Sociais Aplicado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2011.

1. Regressão – Teses. 2. Modelagem – Teses. 3. Temperatura - base – Teses. 4. Graus- dia – Teses. I. Hiraoka, Everton Yoshiaki. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Estudos Sociais Aplicado. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 633,34

EVERTON YOSHIKI HIRAOKA

## **MODELO PARA PREVISÃO DO FLORESCIMENTO NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina como requisito para obtenção do título de mestre

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi Prete  
UEL – Londrina - PR

---

Prof. Dr. Édison Miglioranza  
UEL – Londrina - PR

---

Profa. Dra. Valéria Carpentieri-Pípolo  
UEL – Londrina - PR

---

Dr. Nelson da Silva Fonseca Júnior  
IAPAR – Londrina - PR

---

Dr. Luis Fernando Alliprandini  
Co-Orientador  
UEL – Londrina - PR

---

Profa. Dra. Inês Cristina de Batista Fonseca  
Orientadora  
UEL – Londrina - PR

Londrina, 23 de maio de 2011.

*À minha querida esposa **Karla**.*  
*Aos meus pais **Masaaki e Kimiko**.*  
*Às minhas irmãs **Neusa e Hilda**.*  
*Aos meus sogros **Antonio e Maria**.*  
*Aos meus cunhados **Luiz, Eloir e Rodrigo**.*  
*Aos meus sobrinhos **Fabiana, Marcelo, Gustavo e Gabriel**.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente a DEUS, por me dar tanta sorte e abrir muitas portas a começar pela minha própria vida.

À Professora Doutora Inês Cristina de Batista Fonseca, não somente pela enorme paciência e valiosa atenção em minha orientação, como pelas lições pessoais passadas.

Ao Dr. Luis Fernando Alliprandini que além de me transmitir vários ensinamentos na área do melhoramento genético durante anos de convivência, aceitou me co-orientar.

À Professora Doutora Valéria Carpentieri-Pípolo pelo apoio sobretudo no início do curso.

À UEL pela infra-estrutura e oportunidade na realização deste curso.

À MONSANTO por me proporcionar o tempo necessário para conciliar os estudos com minhas atividades profissionais, em especial aos colegas Arthur, Barioni, Carmona, Cesar, Eduardo, Fabiano, Fábio, Felipe, Gentil, Giaveno, Jorge, Larissa, Leonardo, Marcelo, M. Barboza, M. Bueno, M. Miguel, Márcio, Navarro, Ricardo, R. Miranda, Robson, Rodrigo Santos, Rogério, Samuel, Viviana e a todos que tem me auxiliado muito profissionalmente.

À todos os colegas da MONSOY: Abatti, Adriana, Borsoi, Carlos, Cassiano, Cavassim, Eduardo, Elsimar, Gabriela, Giovani, Gustavo, Hilker, Izabelle, Jander, Juliene, Karina, Leandro, Leonardo, Luiz, Marcello, Mario, Norio, Oda, Paulo Couto, Paulo Vieira, Poliana, Regina, Rizza, Rodrigo, Rudinei, Sérgio, Thais e Wilson, muito obrigado por 7 anos de muito aprendizado e companheirismo.

Aos professores Dr. Édison Miglioranza e Dr. Cássio Egídio Cavenaghi Prete, por compor a banca e sugerirem diversas melhorias.

A todos os colegas da pós-graduação da UEL, em especial a Colômbia, Ricardo, Norberto, Thiago, Idenize, Juliano, Paulo e Carla, pelo convívio e amizade.

Agradeço a Paulo Fernando Bertagnolli, Howard Gabe, Andreomar Kurek, Marco Antonio Rott de Oliveira, Carlos Pitol, Luís Cláudio Prado, Cleiton Steckling, Joseph Burton, Ebersson Calvo, Gustavo Conçalves, Agnaldo Nouchi, H. Corte, A. C. Florêncio, C. Takeda, Paulo Reco, Rita Moraes, Renata Jung, Anonio Pipolo, Plínio Souza, Neylson Arantes, Nilsso Zuffo, Celso Yamanaka, Carlos Varon e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Sem sonhos a vida não tem brilho,  
Sem metas os sonhos não tem alicerces,  
Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais.  
Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra  
riscos para executar seus sonhos.  
Melhor é errar por tentar do que errar por omitir.”*

**Augusto Cury**

HIRAOKA, Everton Yoshiaki. **Modelo para previsão do florescimento na cultura da soja**. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

## RESUMO

A cultura da soja apresenta grande importância econômica no cenário mundial em função da sua grande área plantada. Com a intensificação da agricultura e a busca pelo aumento da produtividade, o conhecimento da data de ocorrência dos estádios fenológicos é fundamental pois permite que as intervenções de manejo como as aplicações de herbicidas, inseticidas, nutrientes e fungicidas sejam realizados no momento correto, além da programação de colheita, podendo dessa forma otimizar os resultados. Os objetivos deste trabalho foram encontrar a temperatura-base mínima de desenvolvimento e um modelo para prever a data de florescimento da cultura ajustado para diferentes genótipos de soja da região Centro-Sul do Brasil. Foram utilizados 40 cultivares de soja, testados em 11 ambientes, durante as safras agrícolas 2002/03 e 2003/04. O delineamento experimental utilizado foi o de bloco casualizados com duas repetições. Todos os tratamentos culturais foram realizados de forma a garantir a melhor performance para o ambiente. Os dados climáticos foram obtidos através da Somar Meteorologia. Para encontrar a temperatura-base mínima foi utilizada a metodologia do menor desvio-padrão e o modelo foi baseado em uma regressão múltipla. Foi encontrada a temperatura-base mínima de desenvolvimento da fase vegetativa para cada genótipo (entre 8 e 15°C), sendo que os materiais de hábito de crescimento indeterminado apresentaram valores inferiores quando comparados aos determinados, porém a metodologia não foi eficiente para encontrar as temperaturas do período reprodutivo. O modelo encontrado para estimar o número de dias necessário até o florescimento para cada cultivar e ambiente se mostrou estatisticamente eficaz com coeficiente de variação de 98,4%. Em função da baixa variação do fotoperíodo nos ambientes estudados, não houve relevância deste na construção do modelo, evidenciando a necessidade de estudos em maior amplitude de latitudes e de épocas de semeadura para melhor entendimento deste componente.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Regressão. Modelagem. Temperatura-base. Graus-dia.

HIRAOKA, Everton Yoshiaki. **Model to predict flowering in soybean**. 2011. 61 p. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

### ABSTRACT

Soybean crop have a great economic importance in the world and have a large cultivated area. With the intensification of agriculture and the quest for increased productivity, know the date of occurrence of phenological stages is crucial and allows the management and applications of herbicides, insecticides, fungicides and nutrients at the right time, in addition to programming harvest and can thus optimize the results. The objectives were to find the minimum base temperature for development and a model to predict the flowering date for different genotypes of soybean in the central-southern Brazil. A total of 40 soybean cultivars tested in 11 environments during the agricultural years 2002/03 and 2003/04. The experimental design was randomized complete block with two replications. All practices were performed to ensure the best performance for the environment. Climatic data were obtained by Somar Meteorologia. To find the minimum base temperature methodology was used the lowest standard deviation and the model was based on a multiple regression. The minimum base temperature was found for the vegetative phase of development for each genotype (between 8 and 15°C), and the indetermined growth habit varieties showed lower values when compared to determined, but the method was not efficient to find the temperatures of the reproductive period. The model to estimate the number of days required to flowering for each cultivar and environment was statistically effective and the coefficient of variation obtained was 98.4%. Due to the low variation of photoperiod in the sites studied, there was no relevance of this factor in the model, emphasizing the need for studies in a wider range of latitudes and seasons to a better understanding of this component.

**Key – words:** *Glycine max*. Regression. Modeling. Base temperature. Degree-days.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1 A CULTURA DA SOJA.....	12
2.1.1 Origem e Taxonomia.....	12
2.1.2 Importância Econômica.....	12
2.2 MODELAGEM EM SOJA.....	13
2.3 IMPORTÂNCIA DO FOTOPERÍODO NO FLORESCIMENTO.....	15
2.4 IMPORTÂNCIA DA TEMPERATURA NO FLORESCIMENTO.....	15
2.5 PERÍODO JUVENIL LONGO.....	18
2.6 INTERAÇÃO FOTOPERÍODO X TEMPERATURA X GENÓTIPO.....	19
2.7 INFLUÊNCIA DO MANEJO NA INDUÇÃO FLORAL.....	20
2.8 HÁBITO DE CRESCIMENTO.....	21
<b>3 ARTIGO: TEMPERATURA-BASE MÍNIMA PARA CULTIVARES BRASILEIRAS DE SOJA</b> .....	23
3.1 RESUMO.....	24
3.2 ABSTRACT.....	24
3.3 INTRODUÇÃO.....	25
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
<b>4 ARTIGO: MODELO PARA PREVISÃO DO FLORESCIMENTO DA CULTURA DA SOJA NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL</b> .....	39
4.1 RESUMO.....	40
4.2 ABSTRACT.....	40
4.3 INTRODUÇÃO.....	41
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53

**5 CONCLUSÕES GERAIS .....54**

**REFERÊNCIAS.....55**

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja apresenta grande importância econômica no cenário mundial em função da sua grande área plantada, o Brasil é o segundo maior produtor no mundo, sendo que na safra 2010/11 atingiu 24,155 milhões de hectares plantados com essa oleaginosa (CONAB, 2011).

Com a intensificação da agricultura e a busca pelo aumento da produtividade, o conhecimento da data de ocorrência dos estádios fenológicos é fundamental pois permite que as intervenções de manejo como as aplicações de herbicidas, inseticidas, nutrientes e fungicidas sejam realizados no momento correto, além da programação de colheita, podendo dessa forma otimizar os resultados.

Para as empresas de melhoramento, a previsão da data de florescimento possibilita planejar melhor a data de plantio dos blocos de cruzamentos para otimizar o intervalo com flores de idade sexualmente compatíveis.

Existe a necessidade de um modelo que permita prever o florescimento da soja que seja de fácil aplicabilidade, que não necessite de dados complexos e com relativa precisão, tal qual existe para o milho (GILMORE; ROGERS, 1958).

Os objetivos deste trabalho foram encontrar a temperatura-base de desenvolvimento e um modelo para prever a data de florescimento da cultura ajustado para diferentes genótipos de soja da região Centro-Sul do Brasil.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CULTURA DA SOJA

#### 2.1.1 Origem e Taxonomia

Existem relatos de que a domesticação da soja teve início aproximadamente em 1.100 a.C., na região nordeste da China, sendo posteriormente introduzida no restante da Ásia, na Europa, América do Norte e América do Sul. No Brasil a primeira referência data de 1882, na Bahia, em relato de Gustavo D'Utra (SEDIYAMA et al., 2009).

A espécie de soja cultivada atualmente foi descrita por Linnaeus em 1753 como *Phaseolus max* (baseado em plantas que ele mesmo viu) e por *Dolichos soja* (baseado em outros autores), sendo que após diversas alterações foi aceita a proposta de Merrill em 1917, desde então o nome da espécie passou a ser *Glycine max* (L.) Merrill (HYMOWITZ et al, 1980).

#### 2.1.2 Importância Econômica

A cultura da soja se destaca por ser uma fonte de proteína (cerca de 40% de sua composição), além de possuir um teor de óleo ao redor de 20%. O óleo é muito utilizado na alimentação humana, na produção de biodiesel, lubrificantes, desinfetantes, entre outros. O farelo é empregado na alimentação humana e animal e demais produtos processados ou semiprocessados. A planta pode ser empregada como forrageira e adubo verde.

Na safra 2010/11 a cultura da soja terá recorde de área plantada nos dois principais países produtores, com os Estados Unidos da América do Norte (EUA) atingindo 31,56 milhões de hectares (USDA, 2010), e o Brasil teve área de 24,155 milhões de hectares (CONAB, 2011).

A previsibilidade da data de florescimento na cultura da soja é muito importante por permitir um melhor planejamento dos recursos de tempo e máquinas dos produtores para a prática de intervenção de manejo, como as aplicações de fungicidas, inseticidas e nutrientes. Para as empresas de melhoramento possibilita

planejar melhor a data de plantio dos blocos de cruzamentos para otimizar o intervalo com flores de idade sexualmente compatíveis.

## 2.2 MODELAGEM EM SOJA

A modelagem em agricultura pode ser útil para melhor entender as interações que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera (DOURADO et al., 1998a).

Modelo é uma equação ou um conjunto de equações que representam o comportamento de um sistema (THORNLEY; FRANCE, 2007).

Segundo Dourado et al. (1998b), os modelos desenvolvidos para simulação dinâmica da cultura da soja mais utilizados no mundo são o GLYCIM (ACOCK et al., 1985), o SOYMOD (MEYER et al., 1979; 1981) e o SOYGRO (JONES et al., 1988). Além destes, Deosthali (2004) ainda cita os modelos SOYCROS (F. W. T. PENNING DE VRIES), EPIC and ALMANAC (WILLIAMS et al., 1989), APSIM (ROBERTSON et al., 1998) e o CROPGRO-Soybean como os modelos de simulação dinâmica desenvolvidos para a cultura da soja com maior projeção internacional. Estes modelos são compostos de numerosos algoritmos contendo uma série de constantes empiricamente calculados.

O GLYCIM tem sido bastante empregado para entender os processos fisiológicos na planta de soja relacionados ao estresse hídrico e ao uso eficiente da irrigação (REDDY et al., 1995).

Hodges e French (1985) utilizando o modelo Soyphen em três anos no estado do Missouri tiveram ótimos resultados de previsão de data de florescimento, com exceção de um ano em que as datas previstas foram entre 15 e 16 dias mais tardias que as reais.

Queiroz et al.(1996) através do emprego de equações de regressão linear conseguiram adequar um modelo que explica as datas de ocorrência dos principais estádios fenológicos de três cultivares de soja em Londrina-PR com base em uma calendarização das datas de semeadura. De maneira similar, nos Estados Unidos existem tabelas de predição dos estádios fenológicos em soja de acordo com a data de plantio (ZHANG et al., 2004). Rodrigues et al. (2001) utilizando um modelo linear simples considerando os efeitos do fotoperíodo, temperatura e genótipo, obtiveram resultados adequados para representar o período entre a emergência e a floração de diversos genótipos de soja em Passo Fundo-RS. Apesar das diferenças

bastante nítidas das metodologias destes autores, em comum está o fato de êxito na aplicabilidade do modelo em apenas um local.

O modelo DVR-DVI (SAMESHIMA,1991) é um aprimoramento dos graus-dia, em que a temperatura e o comprimento do dia são fatores independentes com relação à resposta ao desenvolvimento da soja, é obtida através da integral do DVR (Taxa de Desenvolvimento). Já Lawn e Byth (1973), afirmam que a influência isolada da temperatura sobre o ciclo da soja se restringe às cultivares insensíveis ao fotoperíodo ou quando não ocorre variação na duração deste.

Modelos computacionais atualmente utilizados como o SOYGRO, citado por diversos autores (DALLACORT et al., 2005; ZHANG et al., 2004; MAVROMATIS et al., 2001), utilizam um grande número de variáveis muitas vezes indisponíveis em sua grande maioria de locais, além do que geralmente criam modelos ajustados especificamente para cada cultivar.

O modelo CROPGRO usa uma função multiplicativa para o fotoperíodo (P) e temperatura (T) para modelar o progresso de desenvolvimento relativo diário [R(t)] durante diferentes fases de crescimento, com taxa máxima igual a 1.0 (GRIMM et al., 1993, 1994).

Piper et al. (1996) comparando os modelos computacionais CROPGRO e SOYGRO, ambos utilizando-se de valores de temperatura e comprimento do dia nas estimativas e comparando com dados observados de 1970 a 1990 entre os grupos de maturidade 00 a VIII nos EUA, concluíram que o primeiro foi mais eficiente em determinar a maturidade, principalmente nos materiais mais precoces.

Esses resultados confirmaram os obtidos por Grimm et al. (1993), em que utilizando diversos modelos encontraram os melhores resultados através do modelo que emprega o comprimento do nictoperíodo e a temperatura para estimar a data de florescimento em soja nos EUA para 12 cultivares. Mesmo modelos computacionais modernos como o Cropgro, conforme descrito por Dallacort et al. (2005), necessitam de ajustes de coeficientes genéticos e estes são realizados por tentativa e erro até que ocorra maior aproximação.

As limitações para a utilização de modelos em culturas são o grande conjunto de informações requeridas, bem como a complexidade de calibração e de validação deles nos diferentes ambientes (PEDERSEN et al., 2004). Ainda segundo

Dourado et al. (1998b), a falta de entrosamento entre os modeladores e a freqüente ausência de uma visão global da realidade, impedem maiores avanços na área.

### 2.3 IMPORTÂNCIA DO FOTOPERÍODO NO FLORESCIMENTO

Fotoperíodo é o comprimento do dia favorável para o desenvolvimento de cada organismo, e fotoperiodismo é a resposta do organismo ao relativo comprimento do dia e noite (GARNER; ALLARD, 1920). Estes autores foram os primeiros a reconhecer o fotoperiodismo em soja e obtiveram as primeiras informações básicas a respeito do controle do fotoperíodo em plantas de dias curtos.

O comprimento do dia é o principal fator na determinação da maturidade fisiológica e na região de adaptação de um cultivar de soja (NISSLY, 1981; FEHR et al., 1971).

Semeaduras em datas fora da ideal resultam em florescimento precoce induzido pelo fotoperíodo menor (BOARD; HALL, 1984). No Brasil tal fato também foi evidenciado por diversos autores em diferentes locais como Jaboticabal (ATHAYDE et al., 1984), Campinas e Votuporanga no Estado de SP (MEDINA et al., 1997) e Londrina-PR (TOLEDO et al., 1993). Garner e Allard (1920) e Toledo et al. (1993) também observaram que além do florescimento mais precoce, houve também a redução da altura de plantas.

O efeito do fotoperíodo no desenvolvimento das gemas florais possuem efeitos quantitativos ou acumulativos e existe a necessidade de mais modelos de fenologia de soja para regiões de latitudes menores (ZHANG et al. 2001).

Como a latitude e a declinação solar são utilizados no cálculo do fotoperíodo (TOLEDO et al., 2007), pode-se afirmar que a época de semeadura e a latitude do local são fatores que influenciam diretamente o início do florescimento da cultura da soja. A declinação solar é a distância angular da linha do Equador ao paralelo do astro.

### 2.4 IMPORTÂNCIA DA TEMPERATURA NO FLORESCIMENTO

As temperaturas de solo mais baixas comumente observadas em plantios antecipados ou sobre práticas de conservação de solo, atrasam a

emergência e o estabelecimento do estande de plantas (PEDERSEN et al., 2004). Segundo Hatfield e Egli (1974), a emergência da cultura é mais rápida com temperatura do solo entre 25 e 35°C, sendo que a alongação do hipocótilo é extremamente lenta a 10°C e não há germinação a 40°C.

Mesmo após a emergência, em temperaturas menores ou iguais a 10°C o crescimento vegetativo da soja é nulo ou pequeno, e acima de 40°C existem efeitos adversos na taxa de crescimento (EMBRAPA, 2006), sendo que a temperatura ótima para o florescimento é de 25°C (CÂMARA, 1991).

Temperaturas mais baixas provocam uma diminuição dos primórdios reprodutivos e da taxa de crescimento (RODRIGUES et al., 2001).

Em um mesmo local e em mesma data de plantio, Hartwig (1954) concluiu que as diferenças na data de florescimento de uma cultivar ocorrem em função das variações anuais de temperatura. Mesmo pequenas diferenças geográficas e de altitude podem resultar em grandes diferenças de temperatura (SEDDIGH; JOLLIFF, 1984). Hesketh et al. (1973) observaram que a duração dos subperíodos do estágio vegetativo da soja decresce linearmente com o aumento da temperatura entre 13 e 30°C, parecendo ser mais perceptível nos materiais de grupos de maturidade VI e VII do que V (BOARD; HALL, 1984).

Major et al. (1975b) concluíram que temperaturas menores e comprimentos da duração do dia maiores promovem um atraso no florescimento. Também constataram que os métodos de cálculo de graus-dia e a análise de regressão iterativa foram mais eficientes na estimativa do número de dias de ciclo da soja até o estágio do florescimento.

O modelo de graus-dia pode ser adequado para prever o desenvolvimento fenológico de materiais mais precoces com background genético similar, quando estes são plantados em uma latitude fixa e com baixa amplitude da temperatura diária (SEDDIGH; JOLLIFF, 1984).

Zhang et al. (1995) também obtiveram resultados interessantes de previsibilidade utilizando dados de graus-dia ajustados e de fotoperíodo para cultivares de diferentes grupos de maturidade e tipos de crescimento, porém somente para um local, reforçando a necessidade de mais estudos em outras latitudes e com outros cultivares.

A temperatura-base é a temperatura mínima abaixo da qual o vegetal paralisa o seu desenvolvimento, sendo importante para encontrar a

quantidade de calor efetivamente acumulada durante o dia favorável ao crescimento do vegetal (graus-dia), obtida através da subtração da temperatura média diária com a temperatura-base do vegetal (BRUNINI et. al., 1976).

A utilização da temperatura-base nos modelos permite uma melhor aproximação da realidade, sendo empregado para diversas culturas, como por exemplo, na cultura do milho (GILMORE; ROGERS, 1958), triticale (PEDRO JUNIOR et al., 2004), feijão (WUTKE, et al, 2000), entre outros.

A temperatura-base parece variar de acordo com os genótipos adaptados a uma determinada região geográfica, já que existem diferenças entre as temperaturas-base consideradas. Zhang et al. (2001) não observaram diferenças no comportamento dos materiais utilizando 8 ou 10°C como temperatura-base na utilização de seu modelo, similar a Seddigh et al. (1989) que adotaram a temperatura-base de 6°C em seu modelo de soma térmica. Os valores encontrados nos materiais americanos diferem do germoplasma brasileiro, já que segundo EMBRAPA (2006), a floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C, e Camargo et al. (1987) que obtiveram a temperatura-base de 14°C para o desenvolvimento da cultura da soja no estado de São Paulo.

A temperatura noturna tem maior efeito no florescimento e início do enchimento de grãos, enquanto o fotoperíodo tem mais importância na maturidade (SEDDIGH et al., 1989), sendo que noites mais quentes provocam florescimento mais precoce como observado por Major et al. (1975a), Oliveira et al. (1999) e Carpentieri-Pípolo et al. (2002).

Purcell (2003) utilizando uma base de dados de temperatura de 43 anos, verificou que nos modelos não há diferença significativa quando é empregada a média da temperatura diária ou horária, a não ser que esta ultrapasse os 34°C ou fique muito próxima das temperaturas-base. Resultado similar também foi observado no modelo de Gilmore e Rogers (1958) para a cultura do milho.

Major et al. (1975a) procurando similaridade com o modelo de soma térmica utilizado em milho (GILMORE; ROGERS, 1958), testaram 11 modelos para a soja, porém não encontraram resultados satisfatórios, sinalizando que outros fatores estavam envolvidos além da temperatura somente.

## 2.5 PERÍODO JUVENIL LONGO

Carpentieri-Pípolo et al. (2002) comenta que o cultivo comercial da soja foi limitada por barreiras de fotoperíodo que o restringiam a latitudes superiores a 22° até a introdução da característica do período juvenil longo.

Conforme comentado por Destro et al., 2001, diversos autores comentam que o período juvenil longo é uma característica quantitativa controlada por genes recessivos, com um a cinco genes principais controlando o florescimento.

O período juvenil corresponde a fase pré-indutiva, quando o desenvolvimento da planta é insensível ao fotoperíodo (WILKERSON et al., 1989). Estudando dois materiais um sensível e outro insensível ao fotoperíodo, Shanmugasundaram e Tsou (1978), observaram que a soja possui uma fase juvenil insensível ao fotoperíodo, com comprimento do período indutivo variando entre os cultivares.

As plantas que apresentam período juvenil longo apresentam uma menor taxa de desenvolvimento em direção ao florescimento, resultando no alongamento do período vegetativo (DESTRO et al., 2001).

A característica dos materiais portadores de período juvenil longo em atrasar o florescimento também foi observada por Toledo et al. (1993) na cultivar OC-8 em plantio no mês de setembro.

No passado, chegou-se a pensar que o tamanho do genoma da soja pudesse ser correlacionado com o grupo de maturidade da soja (GRAHAM et al., 1994). Porém, Greilhuber e Obermayer (1996) não obtiveram correlação significativa entre o tamanho do genoma com o grupo de maturidade da soja utilizando DAPI, citometria de fluxo de brometo de etídio e do método de densitometria de Feulgen, indicando que existiam processos mais complexos envolvidos do que o simples tamanho dos mesmos.

A duração da fase reprodutiva da soja é controlada pelos genes da série E (KUMUDINI et al., 2007), sendo que a presença de um maior número de alelos dominantes deste gene, provocaram aumento do período entre o florescimento e a maturidade. Os autores também concluem que a presença desta série de genes atua de maneira associada ao fotoperíodo, diferindo assim no comprimento das fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da soja.

Stewart et al. (2003) utilizando 29 isolinhas, conseguiram obter um modelo de maturidade bastante eficiente (com  $R^2=0,96$ ), porém para tanto, utilizaram-se de coeficientes calculados com a influência de cada gene E, o que torna o seu cálculo mais complexo e com menor praticidade para ser extrapolado para uma ampla diversidade de materiais. Também adotaram unidades de temperatura crítica e fotoperíodo crítico.

Foram identificados 7 loci que condicionam o tempo para florescimento e maturidade e a sensibilidade fotoperiódica (STEWART, 2003). Ainda segundo Cober et al. (2001), com exceção do alelo E6 encontrado no germoplasma tropical (BONATO; VELLO, 1999), os demais 6 loci que contenham os alelos dominantes ou parcialmente dominantes resultaram em sensibilidade maior ao fotoperíodo e florescimento mais tardio que os alelos recessivos.

Toledo et al. (1993) sugerem que um mecanismo genético simples envolvendo vários loci controlam os dias para o florescimento de acordo com o fotoperíodo.

## 2.6 INTERAÇÃO FOTOPERÍODO X TEMPERATURA X GENÓTIPO

No Brasil Alliprandini et al. (2009) determinaram o grupo de maturidade de diversos cultivares de soja, e encontraram uma alta correlação entre a maturidade e o número de dias para o florescimento. Evidenciando que além da temperatura e do fotoperíodo, as características genéticas do material também influenciam a duração do ciclo da cultura, em especial o período juvenil longo como abordado por Destro et al. (2001).

Durante a fase vegetativa, a temperatura assume maior importância do que o fotoperíodo, já que nesta fase pode ocorrer influência da juvenildade em soja e a taxa de desenvolvimento pode ser considerada insensível ao fotoperíodo, conforme comentado por Sinclair et al. (1991). Os mesmos autores ainda concluem que a utilização de um modelo logístico em que o fotoperíodo assume sensibilidade exponencial no modelo foi mais eficiente do que a expressão linear.

As respostas ao comprimento do dia são determinados pelo genótipo, e o controle genético do florescimento e desenvolvimento é distinto e independente para condições de dias curtos e longos (TOLEDO et al. 1993).

Toledo et al. (2007) conseguiram uma alta precisão na previsão de diferentes estádios fenológicos para a cultivar IAS-5 no Rio Grande do Sul, ajustando coeficientes genéticos para este material e utilizando dados de temperatura e fotoperíodo.

Cregan et al. (1984) concluíram que a maior parte das cultivares americanas sofrem indução ao florescimento com resposta linear e quadrática ao fotoperíodo, sendo que os materiais com floração mais tardia respondem somente de maneira linear e somente um cultivar (Fiskeby 5) dos 12 genótipos estudados não apresentou resposta ao incremento do fotoperíodo. O comportamento deste material é natural já que existem materiais insensíveis ao fotoperíodo para indução ao florescimento (SHANMUGASUNDARAM; TSOU, 1978).

Brown e Chapman (1960) também já haviam verificado variações na resposta dos diferentes cultivares em resposta unicamente à temperatura.

Além do fotoperiodismo, Cober et al.(1996b), também verificaram diferenças no comportamento dos genótipos com relação à qualidade luminosa, com respostas diferentes nos genes da série E em 3 variações do vermelho distante. Atualmente diversos trabalhos tem sido realizados procurando unir os conhecimentos da modelagem do desenvolvimento das culturas, com o conhecimento dos marcadores moleculares em detectar os genes da série E e entender melhor as respostas dos genótipos (MESSINA et al., 2006; STEWART et al., 2003), o que permitirão maiores avanços no entendimento da interação genótipo x ambiente no futuro.

## 2.7 INFLUÊNCIA DO MANEJO NA INDUÇÃO FLORAL

A emergência da cultura da soja é resultado da interação da semente com fatores ambientais que incluem a temperatura, umidade, compactação, aeração, macro e microfauna do solo.

A disponibilidade hídrica é importante no estágio de germinação-emergência quando a semente deve ter no mínimo 50% do seu peso em água disponível para que haja rápida emergência (EMBRAPA, 2010).

A profundidade da semeadura também pode afetar a velocidade de emergência da cultura da soja, conforme observado por Hatfield e Egli (1974), 1,2

cm de profundidade maior resulta em diferença de 20 horas no tempo de emergência.

Zhang et al. 2001 também constataram que a data de semeadura tem efeito significativo na exigência da soma térmica para a indução ao florescimento, e que os fotoperíodos menores aceleram a abertura floral. Da mesma forma, Schöffel e Volpe (2002) estudaram três cultivares de soja em sete épocas de plantio (setembro a dezembro) em dois anos em Jaboticabal-SP e descobriram que quanto mais se retarda a semeadura de soja, menor é a necessidade de graus-dia necessária para que a cultura atinja a maturidade.

## 2.8 HÁBITO DE CRESCIMENTO

Os materiais de soja podem ser classificados quanto ao seu tipo de desenvolvimento em indeterminados, determinados e semi-determinados.

As plantas com hábito de crescimento indeterminado não apresentam o ráculo terminal na haste principal, a gema terminal continua sua atividade vegetativa simultaneamente à fase reprodutiva da planta, o florescimento inicia-se no 4° ou 5° nó da haste principal progredindo para baixo e para cima. As plantas com hábito de crescimento determinado apresentam o ráculo terminal na haste principal, a gema apical termina a sua atividade vegetativa com o início do florescimento, sendo que este se inicia também no 4° ou 5° nó da haste principal, porém progride em direção ao ápice (CAMARA, 1998).

Existe ainda as cultivares de soja de tipo de crescimento semi-determinado, isto é, que apresentam atributos tanto do tipo determinado como do indeterminado (NEUMAIER, et al., 2000). Nas cultivares de crescimento semi-determinado as plantas possuem inflorescência racemosa terminal e axilar e a maturação das vagens é semelhante às de hábito de crescimento determinado, ou seja, de cima para baixo (NOGUEIRA, et al. 2009).

Cober et al. (1996b), comenta que não há relatos na literatura de testes do alelo *dt1* para resposta ao fotoperíodo e ainda cita que Bernard (1972) e Foley et al. (1986) tiveram o florescimento mais rápido dos materiais determinados em comparação às isolinhas indeterminadas.

O modelo de soma térmica mostrou-se limitado segundo Seddigh e Jolliff (1984) para estimar o desenvolvimento reprodutivo nos cultivares de tipo de crescimento indeterminado.

**3 ARTIGO**

**TEMPERATURA-BASE MÍNIMA PARA CULTIVARES BRASILEIRAS DE SOJA**

## TEMPERATURA-BASE MÍNIMA PARA CULTIVARES BRASILEIRAS DE SOJA

### 3.1 RESUMO

A previsibilidade de ocorrência dos estádios fenológicos da cultura da soja é uma importante ferramenta para que o produtor possa planejar e otimizar a utilização de recursos físicos e humanos para alcançar maiores rendimentos em sua propriedade. A temperatura-base dos materiais é a temperatura mínima a partir do qual o cultivar processa o seu desenvolvimento, sendo importante para a estimativa dos graus-dia necessários para que a planta atinja uma nova fase de desenvolvimento. O objetivo deste trabalho foi encontrar a temperatura-base mínima de desenvolvimento da fase vegetativa, reprodutiva e do ciclo total da cultura da soja para diferentes genótipos de soja adaptados à região centro-sul do Brasil. Foram utilizados 40 cultivares de soja, testados em 11 ambientes, durante as safras agrícolas 2002/03 e 2003/04. O delineamento experimental utilizado foi o de bloco casualizados com duas repetições. Todos os tratamentos culturais foram realizados de forma a garantir a melhor performance para o ambiente em questão. Os dados climáticos foram obtidos através da Somar Meteorologia. A metodologia empregada na análise foi o do menor desvio padrão da soma térmica em dias. Para a fase vegetativa a metodologia se mostrou bastante adequada e houve diferenças quando comparados materiais de hábito de crescimento indeterminado (temperatura-base inferior) com materiais de hábito de crescimento determinado. Para a fase reprodutiva e para o ciclo total de desenvolvimento a metodologia não foi eficiente, não evidenciando de maneira adequada as temperaturas-base dos cultivares considerados.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* Graus-Dia. Soma térmica. Florescimento. maturidade.

### 3.2 ABSTRACT

The predictability of occurrence of the phenological stages in soybean is an important tool to allow growers to plan and optimize the physical and human resources to achieve higher financial return on their farms. The base temperature is the minimum temperature at which the cultivar develops. Therefore it is important for the estimation of degree-days needed for the plant to reach a new stage of development. The objective of this study has been to find the minimum base temperature of the vegetative development phase, reproductive and for all cycle of soybean genotypes adapted to central-southern from Brazil. A total of 40 soybean varieties have been tested in 11 environments during the agricultural years 2002/03 and 2003/04. The experimental design was a randomized complete block with two replications. All agricultural practices have been used to ensure the best performance for each environment. Climatic data were provided by Somar Meteorologia. The methodology used in the analyses was the least variability of thermal units in days. For the vegetative stage the methodology has shown to be very appropriate and significant differences were noticed when comparing varieties of indeterminate growth habit (lower base temperature) against determinate growth habit. For the reproductive phase and the total cycle of development, the method hasn't been efficient, not showing a properly base temperature of plants considered.

**Key – words:** *Glycine max.* Degrees-day. Heat unit. Flowering. Maturity.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A cultura da soja se destaca por ser uma boa opção proteica e com bom teor de óleo. O óleo é muito utilizado na alimentação humana, na produção de biodiesel, lubrificantes, desinfetantes, entre outros. O farelo é empregado na alimentação humana e animal e demais produtos processados ou semiprocessados.

Segundo a FAO (2010), no ano de 2009 a área colhida de soja foi de 98,83 milhões de hectares no mundo. Na safra 2010/11 a cultura da soja teve recorde de área plantada nos dois principais países produtores, com os Estados Unidos atingindo 31,56 milhões de hectares (USDA, 2010), e o Brasil possui área plantada de 24,155 milhões de hectares (CONAB, 2011).

Com a intensificação da agricultura e a busca pelo aumento da produtividade, o conhecimento da data de ocorrência dos estádios fenológicos é fundamental para o correto manejo, permitindo que os tratamentos culturais como as aplicações de herbicidas, inseticidas, nutrientes e principalmente fungicidas sejam realizados no momento correto, otimizando os resultados.

Dentro deste contexto, a previsão da data de florescimento é extremamente importante, já que orientam os produtores a tomarem medidas fitossanitárias importantes, como o controle preventivo da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachirizi*).

O número de dias para a maturidade de uma cultura pode diferir entre uma safra e outra para a mesma cultivar e por ser influenciada por condições ambientais, especialmente temperatura, umidade relativa do ar e nebulosidade excessiva depois do estágio de maturidade fisiológica (Bruns, 2009). Segundo Hatfield e Egli (1974), a emergência da cultura é mais rápida com temperatura entre 25 e 35°C, sendo que a alongação do hipocótilo é extremamente lenta a 10°C e a semente não germina a 40°C.

Mesmo após a emergência, em temperaturas menores ou iguais a 10°C o crescimento vegetativo da soja é nulo ou pequeno, e acima de 40°C existem efeitos adversos na taxa de crescimento (EMBRAPA, 2006), sendo que a temperatura ótima para o florescimento é de 25°C (CÂMARA, 1991).

Em um mesmo local e em mesma data de plantio, Hartwig (1954) concluiu que as diferenças na data de florescimento de um cultivar ocorrem em função das variações anuais de temperatura. Mesmo pequenas diferenças

geográficas e de altitude podem resultar em grandes diferenças de temperatura (SEDDIGH; JOLLIFF, 1984). Hesketh et al. (1973) observaram que a duração dos subperíodos do estágio vegetativo da soja decresce linearmente com o aumento da temperatura entre 13 e 30°C, parecendo ser mais perceptível nos materiais de grupos de maturidade 6 e 7 do que 5 (BOARD; HALL, 1984).

Major et al. (1975b) concluíram que temperaturas menores e comprimentos da duração do dia maiores promovem um atraso no florescimento.

O modelo de graus-dia pode ser adequado para prever o desenvolvimento fenológico de materiais mais precoces com base genética similar, quando estes são plantados em uma latitude fixa e com pouca flutuação da temperatura diária (SEDDIGH; JOLLIFF, 1984).

Zhang et al. (1995) também obtiveram resultados interessantes de previsibilidade utilizando dados de graus-dia ajustados e de fotoperíodo para cultivares de diferentes grupos de maturidade e tipos de crescimento.

Major et al. (1975a) testando 11 modelos de previsibilidade da data de florescimento, verificaram que os modelos que utilizam a temperatura-base mínima foram mais eficientes.

A temperatura-base mínima ( $T_b$ ) é a temperatura abaixo da qual o vegetal paralisa o seu desenvolvimento, sendo importante para encontrar a quantidade de calor efetivamente acumulada durante o dia favorável ao crescimento do vegetal (graus-dia), obtida através da subtração da temperatura média diária com a temperatura-base do vegetal (BRUNINI et al., 1976). Todo vegetal também apresenta uma temperatura-base máxima ( $T_B$ ), acima da qual o desenvolvimento é reduzido, porém na região centro-sul do Brasil dificilmente tais temperaturas são alcançadas e geralmente tal informação não é empregada na construção dos modelos.

A utilização da temperatura-base nos modelos permite uma melhor aproximação da realidade, sendo empregado por diversas culturas, como por exemplo, na cultura do milho (GILMORE; ROGERS, 1958), triticale (PEDRO JUNIOR et al., 2004), feijão (WUTKE et al., 2000), entre outros.

A temperatura-base mínima parece variar de acordo com os genótipos adaptados a uma determinada região geográfica, já que existe uma grande diferença entre as temperaturas basais consideradas. Zhang et al. (2001) não observaram diferenças no comportamento dos materiais de soja utilizando 8 ou

10°C como temperatura-base na utilização do modelo, similar a Seddigh et al. (1989) que adotaram a temperatura-base de 6°C para seu modelo de soma térmica. No Brasil, segundo EMBRAPA (2006), a floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C, e Camargo et al. (1987) obtiveram a temperatura-base de 14°C para o desenvolvimento da cultura da soja no estado de São Paulo.

A separação da temperatura-base ( $T_b$ ) entre o período vegetativo e reprodutivo possibilita uma maior precisão na previsibilidade da data de florescimento da cultura da soja. O produtor pode planejar melhor a data das aplicações fitossanitárias exigidas durante o estágio fenológico R1. No campo da fitotecnia, também possibilita um refinamento dos modelos existentes.

O objetivo deste trabalho foi encontrar a temperatura-base mínima de desenvolvimento da fase vegetativa, reprodutiva e do ciclo total da cultura da soja para diferentes genótipos de soja adaptados à região centro-sul do Brasil.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados neste trabalho 40 cultivares recomendados para a região centro-sul do Brasil (Tabela 3.1), com grupos de maturidade variando entre 5.0 a 8.1 (ALLIPRANDINI et al, 2009).

Os materiais foram plantados em 11 locais (Tabela 3.2), durante as safras agrícolas 2002/03 e 2003/04. Cada parcela experimental foi constituída de quatro linhas espaçadas entre si por 0,50 m, com 5 metros de comprimento, com densidade de 16 sementes por metro linear. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com duas repetições por local e ano. A semeadura em ambos os anos foi realizada entre a segunda e a terceira semanas de novembro. A adubação foi realizada de maneira a suprir as exigências nutricionais para ótima produtividade de acordo com cada local. As aplicações fitossanitárias foram realizadas de acordo com a necessidade de maneira a garantir o desenvolvimento satisfatório da cultura, eliminando danos causados por plantas daninhas, insetos e patógenos.

**Tabela 3.1** – Cultivares adaptadas à região centro-sul do Brasil, Hábito de Crescimento (HC) e Grupo de Maturidade (GM).

<b>CULTIVAR</b>	<b>HC</b>	<b>GM</b>	<b>CULTIVAR</b>	<b>HC</b>	<b>GM</b>
FT-Cometa	I	5.0	RB605	D	6.7
NK8350	I	5.2	CD 206	D	6.8
M-SOY 5942	I	5.6	CD 208	D	6.8
NK412113	I	5.8	Embrapa 48	D	6.8
CD 215	I	5.9	RB603	D	6.8
FUNDACEP 41	D	6.0	RB604	D	6.9
CD 207	D	6.1	CARRERA	D	7.0
OCEPAR-14	D	6.1	Embrapa 59	D	7.1
RB501	D	6.3	KIS602	D	7.1
BR-16	D	6.4	BRS 154	D	7.2
CD 203	D	6.4	FUNDACEP 38	D	7.2
IAS 5	D	6.4	BRS 133	D	7.4
M-SOY 6101	I	6.4	CD 204	D	7.4
CD 202	D	6.5	M-SOY 7501	D	7.4
CD 210	D	6.5	CD 209	D	7.5
BRS 137	D	6.6	FUNDACEP 39	D	7.5
CD 201	D	6.6	BRS 134	D	7.6
BRS 183	D	6.6	KIS702	D	7.7
RB502	D	6.6	CD 205	D	8.0
BRS 184	D	6.7	M-SOY 8001	D	8.1

**Tabela 3.2** – Municípios de teste das cultivares adaptadas à região centro-sul do Brasil, Unidade da Federação (UF), Latitude (LAT), Longitude (LONG) e Altitude em relação ao nível do mar em metros (ALT).

<b>Local</b>	<b>UF</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>	<b>ALT (m)</b>
Morro Agudo	SP	-20,73	-48,06	546
Maracaju	MS	-21,61	-55,17	384
Dourados	MS	-22,22	-54,81	430
Centenário do Sul	PR	-22,82	-51,60	560
Londrina	PR	-23,54	-51,10	832
Palotina	PR	-24,28	-53,84	335
Santa Tereza do Oeste	PR	-25,05	-53,63	749
Ponta Grossa	PR	-25,10	-50,16	975
Cascavel	PR	-25,96	-53,46	785
Passo Fundo	RS	-28,26	-52,41	690
Cruz Alta	RS	-28,64	-53,61	452

Para efeito de amostragem foram consideradas as duas linhas centrais de cada parcela. A data de florescimento foi considerada quando cada cultivar atingiu o estágio R1 da escala fenológica de Fehr e Caviness (1977), ou

seja, quando 50%+1 das plantas apresentaram pelo menos uma flor aberta em qualquer parte da haste principal. A data de maturidade foi tomada quando 95% das vagens estavam prontas para colheita, o que corresponde ao estágio R8 da mesma escala fenológica.

Os dados diários de temperatura máxima e mínima relativos aos períodos considerados em cada local foram obtidos por Somar Meteorologia (2010). A temperatura média foi obtida através da média entre as temperaturas máxima e mínima.

Para a determinação da temperatura-base mínima, foi utilizado o método da menor variabilidade proposto por Arnold (1959) e empregado por diversos autores (CAMARGO et al, 1987; BRUNINI et al, 1976; PEDRO JUNIOR et al, 2004).

O método consiste em se determinar a soma térmica das diferenças entre a temperatura média do ar e as temperaturas-base pré-estabelecidas, que no presente estudo foram de 8°C a 21°C, com intervalo de 1°C, para cada ambiente de teste e para cada material através da fórmula (1).

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b) \quad (1)$$

Onde GD são os graus-dia acumulados no período, n é o número de dias do período considerado,  $T_i$  é a temperatura média diária (°C),  $T_b$  é a temperatura-base mínima pré-estabelecida.

Após o cálculo dos graus-dia, é calculado o desvio padrão em graus-dia para cada material (2), sendo que o menor valor obtido, corresponde à temperatura-base.

$$S_d = \frac{S_{dd}}{X_t - T_b} \quad (2)$$

Onde  $S_d$  é o desvio padrão em dias,  $S_{dd}$  é o desvio padrão em graus-dia,  $X_t$  é a temperatura média para a série de plantios e  $T_b$  é a temperatura-base mínima pré-estabelecida.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3.3 estão apresentadas as temperaturas-base pré-estabelecidas com os respectivos desvios padrões da soma térmica, expressa em dias, para os onze locais, referentes ao período semeadura-florescimento para cada cultivar para os dois anos agrícolas.

Pode-se observar que a temperatura-base mínima de desenvolvimento vegetativo da cultura da soja variou de 8°C a 15°C de acordo com o genótipo. A maioria dos materiais apresentou a mesma temperatura-base encontrada por Camargo et al. (1987) de 14°C da semeadura até a maturidade.

Dentre os materiais de hábito de crescimento indeterminado, a média da temperatura-base mínima do período vegetativo foi de 10°C, sendo o maior valor verificado para o cultivar M-SOY 6101 (12°C), material que, comparado a outros de hábito inderteminado, se difundiu mais na região dos cerrados onde a média de temperatura diária é mais elevada. Este fato talvez ajude a explicar porque este material apresente uma fase vegetativa muito maior e acame quando cultivado em regiões mais frias (centro-sul do Brasil). Além disso, os materiais de hábito de crescimento indeterminado, neste estudo, são de grupos de maturidade inferior, indo do grupo 5.0 ao grupo 6.4 (ALLIPRANDINI et al. 2009), sendo mais adaptados a maiores latitudes e geralmente expostos a temperaturas mais amenas.

Os menores valores de temperatura-base podem ser explicados pela adaptação geográfica dos parentais a ambientes com temperaturas mais amenas. Provavelmente esses cultivares não devem possuir a característica de período juvenil longo.

Dentre os materiais de hábito de crescimento determinado, a média de temperatura-base no período vegetativo foi de 13°C, sendo que somente o material CD 204 apresentou Tb igual a 10°C. O material CD 205 não apresentou desvio padrão mínimo, ou seja, os desvios foram crescentes para o intervalo de temperaturas-base estudado. Provavelmente este é um exemplo de material que evidencia a presença de outros fatores mais importantes que exclusivamente a temperatura ligados a indução ao florescimento, sendo que estes podem ser relacionados ao ambiente (fotoperíodo, principalmente), genético (presença de juvenildade por exemplo), ou mesmo da interação genótipo x ambiente.

**Tabela 3.3** – Valores de desvio padrão da soma térmica expressa em dias (Sd) e temperatura-base (Tb) correspondentes, para o desenvolvimento vegetativo das cultivares de soja adaptadas à região centro-sul do Brasil, durante os anos 2002/03 e 2003/04.

CULTIVAR	T E M P E R A T U R A - B A S E (°C) V E G E T A T I V O													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
BR16	8,61	8,56	8,51	8,46	8,41	8,38	8,37	8,39	8,46	8,61	8,89	9,37	10,25	11,80
BRS133	9,33	9,28	9,22	9,17	9,13	9,10	9,09	9,12	9,21	9,38	9,69	10,23	11,19	12,89
BRS134	8,40	8,36	8,33	8,30	8,29	8,30	8,34	8,41	8,55	8,79	9,18	9,80	10,85	12,60
BRS137	7,72	7,67	7,63	7,59	7,57	7,56	7,58	7,63	7,75	7,96	8,32	8,90	9,89	11,54
BRS154	8,71	8,67	8,63	8,60	8,58	8,58	8,60	8,65	8,76	8,96	9,29	9,83	10,76	12,34
BRS183	8,68	8,63	8,59	8,55	8,52	8,51	8,52	8,55	8,65	8,83	9,13	9,64	10,56	12,13
BRS184	7,79	7,74	7,69	7,64	7,60	7,58	7,58	7,62	7,72	7,92	8,26	8,84	9,84	11,53
CARRERA	7,91	7,87	7,85	7,84	7,84	7,86	7,92	8,03	8,22	8,52	8,99	9,72	10,90	12,82
CD201	9,16	9,10	9,05	8,99	8,94	8,90	8,88	8,87	8,91	9,01	9,20	9,58	10,31	11,65
CD202	7,57	7,53	7,49	7,46	7,43	7,43	7,46	7,52	7,64	7,87	8,24	8,85	9,87	11,59
CD203	8,42	8,36	8,29	8,23	8,18	8,13	8,10	8,09	8,12	8,23	8,44	8,86	9,64	11,07
CD204	6,96	6,95	6,95	6,96	7,00	7,08	7,22	7,41	7,72	8,17	8,80	9,74	11,15	13,36
CD205	11,80	11,89	12,02	12,18	12,40	12,71	13,14	13,76	14,69	16,18	18,71	23,68	36,35	108,91
CD206	9,06	9,01	8,96	8,92	8,88	8,85	8,85	8,87	8,94	9,09	9,35	9,83	10,69	12,20
CD207	8,17	8,10	8,04	7,98	7,92	7,88	7,86	7,86	7,92	8,06	8,34	8,84	9,76	11,38
CD208	10,03	9,98	9,93	9,88	9,83	9,80	9,77	9,77	9,81	9,91	10,11	10,49	11,24	12,63
CD209	9,35	9,30	9,26	9,21	9,17	9,14	9,14	9,15	9,22	9,36	9,61	10,07	10,92	12,43
CD210	8,09	8,06	8,02	8,00	7,99	7,99	8,03	8,09	8,22	8,44	8,79	9,35	10,30	11,88
CD215	8,77	8,77	8,77	8,79	8,82	8,87	8,96	9,09	9,30	9,60	10,04	10,68	11,72	13,42
Embrapa48	8,99	8,94	8,90	8,85	8,82	8,79	8,79	8,80	8,87	9,00	9,24	9,67	10,45	11,84
Embrapa59	8,56	8,49	8,42	8,35	8,29	8,24	8,21	8,21	8,27	8,42	8,72	9,25	10,25	12,01
FT-Cometa	6,26	6,27	6,28	6,32	6,37	6,46	6,59	6,77	7,03	7,41	7,94	8,69	9,82	11,62
FUNDACEP38	8,03	7,97	7,92	7,87	7,82	7,80	7,79	7,81	7,90	8,07	8,37	8,89	9,81	11,39
FUNDACEP39	8,12	8,10	8,09	8,10	8,13	8,18	8,29	8,45	8,72	9,13	9,72	10,61	12,00	14,18
FUNDACEP41	8,18	8,12	8,07	8,01	7,96	7,93	7,91	7,91	7,95	8,07	8,30	8,72	9,50	10,92
IAS5	8,52	8,48	8,43	8,39	8,36	8,34	8,35	8,37	8,45	8,60	8,87	9,34	10,18	11,65
KIS602	7,94	7,88	7,83	7,78	7,73	7,71	7,71	7,74	7,83	8,02	8,36	8,94	9,94	11,66
KIS702	10,45	10,39	10,34	10,28	10,23	10,19	10,17	10,16	10,20	10,29	10,49	10,88	11,64	13,05
M-SOY5942	6,16	6,13	6,11	6,10	6,11	6,14	6,20	6,30	6,47	6,75	7,18	7,85	8,91	10,66
M-SOY6101	7,03	7,00	6,97	6,95	6,95	6,97	7,02	7,11	7,28	7,55	7,98	8,64	9,70	11,42
M-SOY7501	8,83	8,78	8,73	8,68	8,65	8,62	8,62	8,64	8,72	8,87	9,15	9,63	10,50	12,03
M-SOY8001	8,46	8,42	8,38	8,35	8,34	8,34	8,38	8,46	8,62	8,89	9,32	10,01	11,18	13,12
NK412113	7,18	7,18	7,18	7,19	7,22	7,28	7,37	7,50	7,71	8,02	8,48	9,15	10,22	11,99
NK8350	6,40	6,40	6,41	6,44	6,48	6,56	6,67	6,82	7,06	7,40	7,89	8,59	9,67	11,41
OCEPAR-14	8,92	8,91	8,90	8,90	8,92	8,96	9,03	9,13	9,30	9,57	9,96	10,55	11,52	13,09
RB501	8,29	8,25	8,22	8,20	8,19	8,21	8,25	8,33	8,48	8,73	9,13	9,76	10,82	12,57
RB502	7,98	7,95	7,92	7,90	7,90	7,91	7,96	8,04	8,19	8,44	8,83	9,42	10,41	12,02
RB603	8,62	8,59	8,56	8,54	8,53	8,54	8,58	8,65	8,77	8,99	9,34	9,90	10,85	12,47
RB604	8,39	8,34	8,29	8,25	8,21	8,18	8,18	8,20	8,27	8,42	8,69	9,17	10,01	11,47
RB605	8,36	8,30	8,25	8,21	8,17	8,14	8,13	8,15	8,22	8,37	8,63	9,10	9,93	11,39

Com base nos menores valores de desvio padrão da soma térmica, as temperaturas-base do período vegetativo estão apresentadas na Tabela 3.4, juntamente com a soma térmica média de cada material e a soma térmica de cada

material em cada localidade (resultado da somatória da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura-base mínima).

Verifica-se grandes diferenças entre as temperaturas basais de desenvolvimento e de soma térmica entre os cultivares considerados e também entre os locais. Camargo et al. (1987 e 1986), encontraram diferenças na acumulação térmica dentro dos mesmos materiais no estado de São Paulo, variando de acordo com a data de semeadura, sendo que à medida que se atrasa o plantio (de outubro a dezembro), reduz-se o tempo para atingir o valor crítico do fotoperíodo e encurta assim o ciclo total da cultura e reduz o número de graus-dia necessário para o material atingir a maturidade. Schöffel e Volpe (2002) também encontraram essas diferenças de acordo com o atraso da data de semeadura.

O melhor entendimento da temperatura-base de desenvolvimento é fundamental para o aprimoramento de modelos que permitam explicar o comportamento e o desempenho de cultivares a campo. Para a região considerada, o período de semeadura recomendado ocorre entre os meses de outubro e novembro, sendo que em anos climatológicos normais a temperatura durante o estágio de desenvolvimento vegetativo da cultura da soja é inferior quando comparado ao período reprodutivo, reforçando a necessidade de aprimoramento nos estudos a respeito. Como a região centro-sul do Brasil é caracterizada por apresentar temperaturas médias mais amenas, a temperatura-base mínima assume um papel mais importante. Porém quando o objeto de estudo engloba materiais adaptados ao cerrado brasileiro, sugere-se encontrar a temperatura-base máxima, já que nestes locais as temperaturas médias registradas são mais elevadas. Possivelmente diferenças na temperatura-base mínima entre materiais precoces e tardios pudessem estar envolvidas nos estudos de Major et al. (1975) e Lawn e Byth (1973), que concluíram que os materiais mais tardios eram os mais sensíveis às diferenças de fotoperíodo.

**Tabela 3.4** – Valores de Soma Térmica para cada localidade, Média da Soma Térmica e a Temperatura-base de cada cultivar, para o desenvolvimento vegetativo das cultivares de soja adaptadas à região centro-sul do Brasil, durante os anos 2002/03 e 2003/04.

CULTIVAR	CASCADEL	CENTENÁRIO SUL	CRUZ ALTA	DOURADOS	LONDRINA	MARACAJU	MORRO AGUDO	PALOTINA	PASSO FUNDO	PONTA GROSSA	ST TEREZA OESTE	MÉDIA	TEMPERATURA BASAL
BR-16	548	475	612	516	638	502	426	522	688	435	616	544	14
BRS154	729	629	809	682	815	673	566	683	913	643	885	730	13
BRS183	737	640	844	734	830	687	614	697	986	643	871	753	13
BRS184	729	624	816	752	770	687	586	690	913	656	864	735	13
BRS133	666	555	731	648	716	605	515	622	807	534	774	652	14
BRS134	713	648	815	714	783	666	581	672	896	607	867	724	12
BRS137	611	545	660	586	647	547	466	579	758	355	700	587	13
CARRERA	768	695	867	798	844	727	648	737	943	694	950	788	11
CD215	782	678	788	710	867	591	552	733	990	670	898	751	9
CD201	502	440	581	503	556	445	382	476	641	390	595	501	15
CD202	617	560	685	586	647	571	489	585	758	504	724	612	13
CD203	497	440	561	458	519	455	354	461	607	369	558	480	15
CD204	944	902	1023	965	1066	878	821	883	1157	873	1112	966	9
CD205	969	826	1170	944	1042	1023	739	905	1252	953	1137	996	8
CD206	578	508	657	581	650	544	447	540	735	463	700	582	14
CD207	565	511	661	596	638	553	468	544	735	463	662	582	14
CD208	536	452	592	516	590	445	396	498	727	414	606	525	15
CD209	584	524	675	581	661	544	447	557	772	474	694	592	14
CD210	554	481	593	538	613	455	447	513	688	423	640	541	12
Embrapa48	565	469	628	538	670	502	431	520	700	435	656	556	14
Embrapa59	590	544	690	596	661	563	479	569	746	523	713	607	14
FT-Cometa	786	674	727	678	711	603	562	702	910	625	789	706	8
FUNDACEP38	548	501	611	527	638	491	437	532	688	463	656	554	14
FUNDACEP39	905	858	957	907	1013	774	680	822	1062	839	976	890	10
FUNDACEP41	479	417	545	446	509	445	365	449	578	348	562	468	15
IAS5	586	503	653	562	600	534	449	546	785	454	680	577	13
KIS602	584	516	640	566	602	524	442	546	700	483	676	571	14
KIS702	590	485	649	530	600	529	400	551	727	423	651	558	15
M-SOY5942	637	574	687	575	643	614	473	591	733	474	668	606	11
M-SOY6101	656	586	712	650	714	616	525	608	789	521	758	649	12
M-SOY7501	596	508	664	566	650	534	472	562	758	474	700	589	14
M-SOY8001	733	671	820	760	862	677	600	694	910	664	880	752	12
NK412113	764	633	723	691	722	577	536	704	941	620	783	700	9
NK8350	771	651	718	678	729	603	544	693	929	625	817	705	8
OCEPAR-14	773	645	780	730	841	589	594	703	984	662	896	745	10
RB501	698	594	759	700	756	589	543	665	870	595	794	687	12
RB502	669	580	706	650	742	561	543	622	842	562	794	661	12
RB603	634	550	713	608	702	574	465	608	789	521	746	628	12
RB604	559	481	611	538	602	491	432	527	700	446	652	549	14
RB605	535	476	594	516	592	479	421	513	688	435	651	536	14

Embora diversos autores (MAJOR et al., 1975a; OLIVEIRA et al., 1999; CARPENTIERI-PIPOLO et al., 2002, SEDDIGH et al., 1989) consideram que a temperatura noturna maior contribuiu para o encurtamento do ciclo da cultura, para este estudo, assumimos que os valores diurno e noturno afetam igualmente o desenvolvimento da soja. De certa forma este ponto está sendo contemplado no modelo, já que podemos considerar que uma eventual temperatura noturna mais elevada está contribuindo para aumentar a temperatura média diária utilizada. Outro ponto considerado é que o fotoperíodo (diferenças de latitude e de épocas de semeadura) e demais questões ambientais também são importantes como umidade presente no solo e fertilidade (HESKETH, 1973), passam a ser desconsideradas pelo modelo.

De forma similar, foi também calculado o menor desvio padrão da soma térmica para o período florescimento-maturação (estádio R1 a estágio R8 da escala fenológica de FEHR; CAVINESS, 1977), como pode ser observado na Tabela 3.5 e também foi estimado para o ciclo total da cultura (Tabela 3.6).

Diferentemente dos resultados obtidos por Camargo et al.(1987), Brunini et al.(1976) e Pedro Junior et al.(2004), a metodologia do menor desvio padrão empregada neste trabalho, não foi eficiente para estimar a temperatura-base para o ciclo total da cultura da soja (semeadura-maturidade) e também para o período reprodutivo (florescimento-maturidade), já que para todos os materiais analisados o resultado atingido foi 8°C (Tabelas 3.5 e 3.6), ou seja, não foi verificado um desvio padrão mínimo, e a exemplo do ocorrido com o material CD205 na fase vegetativa, os valores foram crescentes.

Conforme descrito por Camargo et al.(1987), embora seja comum adotar somente uma única temperatura base para todo o ciclo da planta por ser de mais fácil aplicabilidade, o ideal é considerar as variações que cada espécie vegetal possua em função da idade ou da fase fenológica da planta, portanto a utilização da temperatura-base de maneira separada possibilitam uma melhor aproximação da realidade do que um único valor.

**Tabela 3.5 –** Valores de desvio padrão da soma térmica expressa em dias (Sd) e temperatura-base (Tb) correspondentes, para o desenvolvimento reprodutivo das cultivares de soja adaptadas à região centro-sul do Brasil, durante os anos 2002/03 e 2003/04.

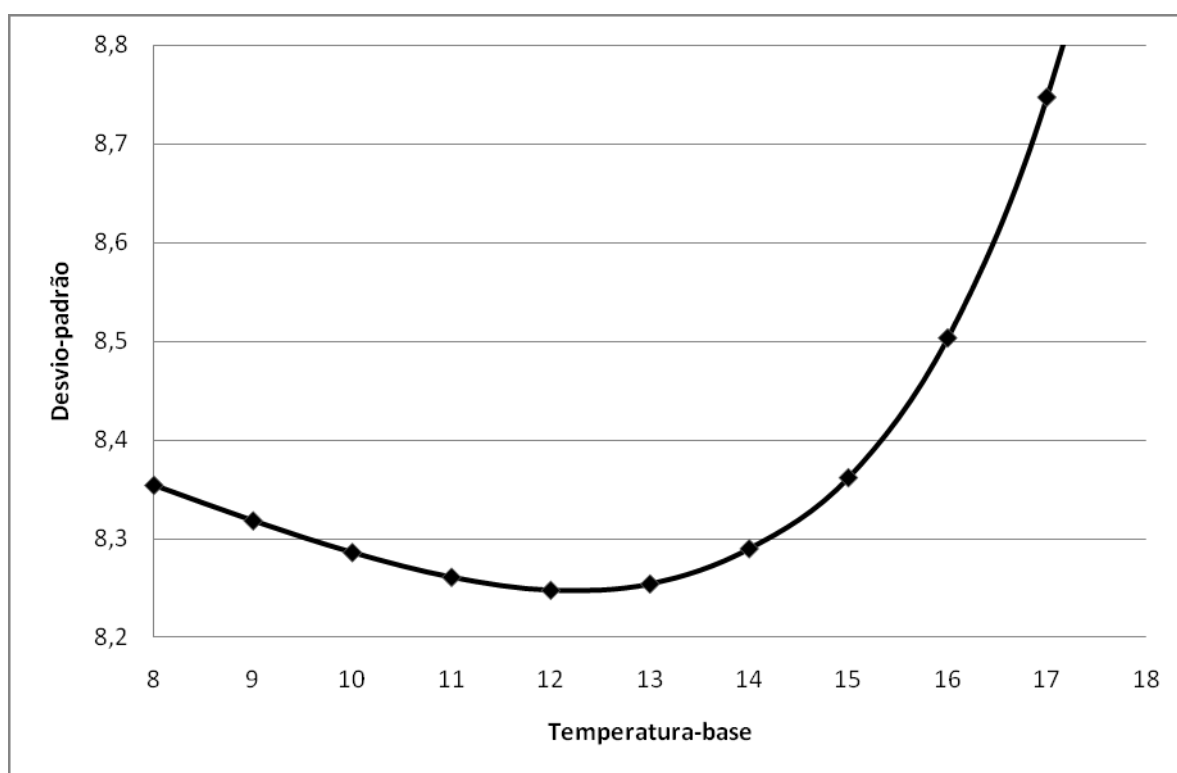
CULTIVAR	T E M P E R A T U R A - B A S E (°C) R E P R O D U T I V O													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
BR16	11,40	11,59	11,80	12,05	12,35	12,71	13,16	13,71	14,42	15,34	16,58	18,30	20,76	24,42
BRS133	9,17	9,34	9,55	9,79	10,08	10,43	10,87	11,41	12,10	13,00	14,20	15,85	18,13	21,36
BRS134	9,42	9,60	9,82	10,09	10,41	10,80	11,28	11,88	12,65	13,66	15,00	16,83	19,35	22,84
BRS137	9,39	9,57	9,77	10,02	10,31	10,66	11,09	11,62	12,29	13,16	14,31	15,87	18,00	21,02
BRS154	8,83	9,00	9,21	9,46	9,76	10,13	10,59	11,17	11,91	12,88	14,16	15,92	18,33	21,69
BRS183	8,84	8,99	9,17	9,39	9,65	9,97	10,36	10,84	11,46	12,27	13,33	14,78	16,80	19,67
BRS184	9,58	9,72	9,90	10,10	10,35	10,66	11,04	11,53	12,15	12,98	14,08	15,61	17,75	20,77
CARRERA	8,17	8,28	8,43	8,61	8,83	9,10	9,45	9,90	10,49	11,28	12,35	13,84	15,93	18,89
CD201	11,03	11,18	11,36	11,56	11,82	12,12	12,50	12,97	13,58	14,38	15,45	16,93	19,00	21,99
CD202	9,60	9,72	9,87	10,05	10,27	10,54	10,87	11,30	11,86	12,59	13,57	14,94	16,85	19,62
CD203	10,05	10,21	10,40	10,62	10,89	11,21	11,60	12,08	12,70	13,50	14,55	15,99	17,99	20,86
CD204	9,34	9,46	9,60	9,78	10,00	10,27	10,63	11,09	11,69	12,50	13,62	15,19	17,39	20,45
CD205	10,31	10,48	10,69	10,94	11,24	11,62	12,09	12,68	13,45	14,46	15,82	17,69	20,23	23,77
CD206	9,46	9,62	9,80	10,02	10,28	10,61	11,01	11,52	12,18	13,04	14,19	15,79	18,00	21,15
CD207	8,55	8,69	8,85	9,05	9,29	9,57	9,93	10,37	10,93	11,66	12,63	13,96	15,81	18,46
CD208	10,29	10,45	10,64	10,87	11,14	11,47	11,88	12,39	13,05	13,90	15,04	16,60	18,79	21,89
CD209	9,61	9,79	10,00	10,25	10,56	10,93	11,40	11,98	12,72	13,69	14,98	16,75	19,19	22,63
CD210	9,77	9,92	10,11	10,32	10,58	10,90	11,28	11,76	12,38	13,17	14,22	15,66	17,66	20,52
CD215	9,47	9,61	9,77	9,97	10,20	10,48	10,83	11,26	11,82	12,55	13,52	14,85	16,71	19,39
Embrapa48	9,43	9,59	9,77	10,00	10,27	10,61	11,03	11,55	12,22	13,10	14,28	15,90	18,14	21,30
Embrapa59	9,34	9,52	9,74	9,99	10,29	10,66	11,11	11,67	12,38	13,30	14,52	16,18	18,44	21,59
FT-Cometa	6,69	6,79	6,92	7,08	7,28	7,52	7,83	8,22	8,72	9,39	10,28	11,51	13,21	15,61
FUNDACEP38	10,26	10,39	10,55	10,75	11,01	11,32	11,73	12,26	12,95	13,88	15,15	16,90	19,31	22,68
FUNDACEP39	9,03	9,16	9,32	9,52	9,77	10,08	10,47	10,98	11,65	12,54	13,75	15,41	17,68	20,83
FUNDACEP41	9,08	9,24	9,42	9,64	9,90	10,21	10,60	11,07	11,67	12,45	13,47	14,86	16,79	19,54
IAS5	9,51	9,67	9,86	10,08	10,34	10,66	11,06	11,54	12,16	12,96	14,02	15,47	17,48	20,36
KIS602	9,64	9,74	9,86	10,02	10,23	10,50	10,85	11,32	11,96	12,83	14,02	15,68	17,96	21,11
KIS702	11,33	11,58	11,86	12,19	12,57	13,03	13,58	14,26	15,10	16,17	17,57	19,46	22,02	25,60
M-SOY5942	9,95	10,06	10,19	10,34	10,53	10,76	11,05	11,42	11,90	12,54	13,39	14,59	16,27	18,68
M-SOY6101	9,41	9,53	9,67	9,84	10,05	10,31	10,65	11,07	11,63	12,37	13,37	14,78	16,77	19,65
M-SOY7501	10,07	10,26	10,48	10,75	11,07	11,46	11,94	12,54	13,29	14,27	15,57	17,35	19,78	23,21
M-SOY8001	9,48	9,66	9,88	10,15	10,47	10,88	11,39	12,03	12,86	13,95	15,39	17,33	19,92	23,49
NK412113	10,28	10,41	10,57	10,76	10,98	11,26	11,61	12,04	12,59	13,31	14,28	15,60	17,46	20,13
NK8350	7,67	7,79	7,92	8,09	8,30	8,55	8,86	9,26	9,77	10,44	11,33	12,55	14,25	16,65
OCEPAR-14	9,02	9,20	9,40	9,64	9,93	10,27	10,68	11,19	11,82	12,64	13,70	15,12	17,10	19,88
RB501	9,44	9,61	9,81	10,05	10,32	10,65	11,05	11,55	12,16	12,96	13,99	15,39	17,33	20,07
RB502	9,24	9,44	9,66	9,92	10,24	10,61	11,07	11,64	12,36	13,28	14,49	16,12	18,36	21,53
RB603	10,22	10,38	10,58	10,81	11,08	11,41	11,82	12,34	12,99	13,85	14,98	16,53	18,69	21,81
RB604	10,65	10,83	11,04	11,30	11,60	11,96	12,40	12,95	13,64	14,54	15,72	17,34	19,56	22,76
RB605	9,90	10,07	10,26	10,50	10,78	11,11	11,53	12,04	12,70	13,55	14,67	16,21	18,34	21,38



Na Figura 3.1, apresentam-se as médias dos desvios padrões em dias de todos os materiais em todos os ambientes estudados para os intervalos de temperatura-base pré-estabelecidas entre 8 e 18°C, o menor valor da curva ocorreu a 12°C.

A adequação da data de semeadura para cada localidade em específico de acordo com a normal climatológica, possibilita que o produtor posicione o cultivar de forma a planejar as aplicações fitossanitárias bem como as operações práticas de colheita e semeadura da segunda safra de inverno. De maneira que quando ocorrem temperaturas médias inferiores às temperaturas basais mínimas, o ciclo da cultura irá se alongar no campo.

**Figura 3.1** – Média do desvio padrão (dias) das cultivares adaptadas à região centro-sul do Brasil, em função da temperatura-base mínima entre 8 e 18°C, para o estágio vegetativo da cultura da soja.



Novos conhecimentos se fazem necessário, de maneira a integrar a influência da temperatura, do fotoperíodo, do período juvenil longo e dos marcadores moleculares principalmente dos alelos da série E para entendimento das interações genótipo x ambiente envolvidos no florescimento de cada cultivar.

### 3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A média da temperatura-base mínima de desenvolvimento vegetativo da cultura da soja para os genótipos estudados, foi semelhante aos encontrados por diversos autores até a maturidade para os materiais de hábito de crescimento determinado. Para os genótipos de crescimento indeterminado a temperatura-base foi inferior.

A metodologia da menor variabilidade proposta por Arnold (1959) foi eficiente para estimar a temperatura-base para a fase vegetativa da cultura.

**4 ARTIGO**

**MODELO PARA PREVISÃO DO FLORESCIMENTO DA CULTURA DA SOJA NA  
REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL**

## MODELO PARA PREVISÃO DO FLORESCIMENTO DA CULTURA DA SOJA NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL

### 4.1 RESUMO

A construção de modelos para estimar a data de florescimento na cultura da soja, é uma ferramenta importante, por possibilitar ao produtor um melhor planejamento e otimização dos recursos de sua propriedade. O objetivo deste trabalho foi encontrar um modelo baseado em regressão múltipla que permita estimar o número de dias necessário para que um dado genótipo de soja atinja a fase reprodutiva para a região centro-sul do Brasil. Foram utilizados neste experimento 39 cultivares de soja, testados em 11 locais, durante as safras agrícolas 2002/03 e 2003/04. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com duas repetições. Todos os tratamentos culturais foram realizados de forma a garantir a melhor performance no ambiente estudado. Os dados climáticos foram obtidos através da Somar Meteorologia. O modelo encontrado foi baseado em uma regressão múltipla, considerando como variáveis independentes a temperatura-base, a soma térmica e a temperatura média do ambiente. Dentre os modelos construídos, foi escolhido o que apresentava quatro variáveis, com coeficiente de determinação de 98,4%. Embora o modelo apresente uma correlação muito alta entre o estimado e o observado, recomenda-se novas experimentações em uma maior amplitude de latitudes e de datas de semeadura, possibilitando entender melhor os efeitos do ambiente e do genótipo.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* Regressão. Modelagem. Temperatura. Fotoperíodo.

### 4.2 ABSTRACT

The construction of models to estimate the date of flowering in soybeans, is a very important tool, it enables a better planning to growers who wishes to optimize the resources of their farm. The objective of this study has been to find a model based on multiple regression in order to estimate the number of days required for a genotype soybean to reach the reproductive stage for the central-southern of Brazil. In this experiment has been used 39 soybean cultivars tested in 11 locations during the seasons 2002/03 and 2003/04. The experimental design developed was a randomized complete block with two replications. All agricultural practices have been used to ensure the best performance for each environment. The climatic data has been provided by Somar Meteorologia. The model found has been based on a multiple regression taking into consideration independent variables such as the base temperature, the heat units and the average temperature of the environment. Among the all models built, it was chosen the one which has shown four variables, with coefficient of variation over than 98.4%. Although the model being presented have a very high correlation between estimated and observed, it is recommended further trials in a wider range of latitudes and sowing dates, enabling a better understanding regarding the effects of environment and genotype.

**Key – words:** *Glycine max.* Regression. Modeling. Temperature. Photoperiod.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A cultura da soja se destaca na economia mundial. Segundo a FAO (2010), a área colhida foi superior a 98 milhões de hectares no ano de 2009. Além de ser uma ótima opção protéica e apresentar um bom teor de óleo.

Para uma melhor compreensão das interações que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera é empregada a modelagem na agricultura. Modelo é uma equação ou um conjunto de equações que representam o comportamento de um sistema (THORNLEY; FRANCE, 2007).

Uma aplicação bastante utilizada atualmente dos modelos é a previsibilidade da data de florescimento.

A previsão da data de florescimento é extremamente importante, já que orientam os produtores a tomarem medidas de manejo importantes, como por exemplo o controle preventivo da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachirizi*).

O comprimento do dia é o principal fator na determinação da maturidade e na região de adaptação de um cultivar de soja (NISSLY et al., 1981; FEHR et al., 1971). O efeito do fotoperíodo no desenvolvimento das gemas florais possuem efeitos quantitativos ou acumulativos e existe a necessidade de mais modelos de fenologia de soja para regiões de latitudes menores (ZHANG et al. 2001).

Como a latitude e a declinação solar são fatores que determinam o tamanho do fotoperíodo (TOLEDO et al., 2007), pode-se afirmar que a época de semeadura e a latitude do local são fatores que influenciam diretamente o início do florescimento da cultura da soja.

Brown e Chapman (1960) encontraram variações na resposta dos diferentes cultivares de soja em resposta unicamente à temperatura. As temperaturas de solo mais baixas comumente observadas em plantios antecipados ou sobre práticas de conservação de solo, atrasam a emergência e o estabelecimento do estande de plantas (PEDERSEN et al., 2004).

Em um mesmo local e em mesma data de plantio, Hartwig (1954) concluiu que as diferenças nas datas de florescimento de cultivares ocorrem em função das variações anuais de temperatura. Mesmo pequenas diferenças geográficas e de altitude podem resultar em grandes diferenças de temperatura (SEDDIGH; JOLLIFF, 1984). Hesketh et al. (1973) observaram que a duração dos

subperíodos do estágio vegetativo da soja decresce linearmente com o aumento da temperatura entre 13 e 30°C, parecendo ser mais perceptível nos materiais de grupos de maturidade 6 e 7 do que 5 (BOARD; HALL, 1984).

Major et al. (1975b) concluíram que temperaturas menores e comprimentos da duração do dia maiores promovem um atraso no florescimento. Também constataram que os métodos de cálculo de graus-dia e a análise de regressão iterativa foram mais eficientes na estimativa do número de dias de ciclo da soja até o estágio do florescimento.

O modelo de graus-dia pode ser adequado para prever o desenvolvimento fenológico de materiais mais precoces com base genética similar, quando estes são plantados em uma latitude fixa e com pouca flutuação da temperatura diária (SEDDIGH et al., 1984).

A utilização da temperatura-base nos modelos permite uma melhor aproximação da realidade, sendo empregado por diversas culturas, como por exemplo, na cultura do milho (GILMORE; ROGERS, 1958), triticale (PEDRO JUNIOR et al., 2004), feijão (WUTKE et al., 2000), entre outros. A temperatura-base mínima é a temperatura abaixo da qual o vegetal paralisa o seu desenvolvimento, sendo importante para encontrar a quantidade de calor efetivamente acumulada durante o dia favorável ao crescimento do vegetal (graus-dia), obtida através da subtração da temperatura média diária com a temperatura-base do vegetal (BRUNINI et al., 1976). No caso da região centro-sul do Brasil, os efeitos da temperatura-base mínima devem assumir maior importância no modelo quando comparadas às regiões mais quentes como a do cerrados.

A temperatura noturna tem efeito maior no florescimento e início do enchimento de grãos, enquanto o fotoperíodo tem uma importância maior na maturidade (SEDDIGH et al., 1989), sendo que noites mais quentes provocam um florescimento mais precoce como observado por Major et al. (1975a), Oliveira et al. (1999) e Carpentieri-Pípolo et al. (2002).

Apesar da temperatura noturna possuir importância maior que a diurna no florescimento da cultura da soja, Purcell (2003) concluiu a partir da análise de uma base de dados de temperatura de 43 anos que nos modelos não há diferença significativa quando é empregada a média da temperatura diária ou horária, a não ser que esta ultrapasse os 34°C ou fique muito próxima da

temperatura-base. Resultado similar também foi observado no modelo de Gilmore e Rogers (1958) para a cultura do milho.

A influência da temperatura no florescimento da soja explicam em grande parte as diferenças na data de sua ocorrência dentro de um mesmo regime fotoperiódico. Tal fato pode ser observado quando ocorrem variações de temperatura entre os anos, ou quando há diferenças significativas de altitude em relação ao nível do mar, já que geralmente quanto maior a altitude, menor é a temperatura média do período considerado.

Fica evidente que além da temperatura e do fotoperíodo, as características genéticas do material também influenciam a duração do ciclo da cultura, em especial o período juvenil longo como abordado por Destro et al. (2001). O período juvenil corresponde a fase pré-indutiva, quando o desenvolvimento da planta é insensível ao fotoperíodo (WILKERSON, 1989). Estudando dois materiais um sensível e outro insensível ao fotoperíodo, Shanmugasundaram e Tsou (1978), observaram que a soja possui uma fase juvenil insensível ao fotoperíodo, com comprimento do período indutivo variando entre cultivares. As plantas que apresentam período juvenil longo apresentam menor taxa de desenvolvimento até o florescimento, resultando no alongamento do período vegetativo (DESTRO et al., 2001).

O objetivo deste trabalho foi encontrar um modelo baseado em regressão múltipla que permita estimar o número de dias necessário para que um dado genótipo de soja atinja a fase reprodutiva para a região centro-sul do Brasil.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados neste trabalho 39 cultivares recomendados para a região centro-sul do Brasil, com grupos de maturidade variando entre 5.0 a 8.1 (ALLIPRANDINI et al, 2009), sendo considerados para o estudo os valores de soma térmica e temperatura-base mínima de cada cultivar os dados da tabela 4.1.

**Tabela 4.1 –** Valores de Soma Térmica para cada localidade, Média da Soma Térmica e a Temperatura-base de cada cultivar, para o desenvolvimento vegetativo das cultivares de soja adaptadas à região centro-sul do Brasil, durante os anos 2002/03 e 2003/04.

CULTIVAR	CASCVEL	CENTENÁRIO SUL	CRUZ ALTA	DOURADOS	LONDRINA	MARACAJU	MORRO AGUDO	PALOTINA	PASSO FUNDO	PONTA GROSSA	ST TEREZA OESTE	MÉDIA	TEMPERATURA BASAL
BR-16	548	475	612	516	638	502	426	522	688	435	616	544	14
BRS154	729	629	809	682	815	673	566	683	913	643	885	730	13
BRS183	737	640	844	734	830	687	614	697	986	643	871	753	13
BRS184	729	624	816	752	770	687	586	690	913	656	864	735	13
BRS133	666	555	731	648	716	605	515	622	807	534	774	652	14
BRS134	713	648	815	714	783	666	581	672	896	607	867	724	12
BRS137	611	545	660	586	647	547	466	579	758	355	700	587	13
CARRERA	768	695	867	798	844	727	648	737	943	694	950	788	11
CD215	782	678	788	710	867	591	552	733	990	670	898	751	9
CD201	502	440	581	503	556	445	382	476	641	390	595	501	15
CD202	617	560	685	586	647	571	489	585	758	504	724	612	13
CD203	497	440	561	458	519	455	354	461	607	369	558	480	15
CD204	944	902	1023	965	1066	878	821	883	1157	873	1112	966	9
CD205	969	826	1170	944	1042	1023	739	905	1252	953	1137	996	8
CD206	578	508	657	581	650	544	447	540	735	463	700	582	14
CD207	565	511	661	596	638	553	468	544	735	463	662	582	14
CD208	536	452	592	516	590	445	396	498	727	414	606	525	15
CD209	584	524	675	581	661	544	447	557	772	474	694	592	14
CD210	554	481	593	538	613	455	447	513	688	423	640	541	12
Embrapa48	565	469	628	538	670	502	431	520	700	435	656	556	14
Embrapa59	590	544	690	596	661	563	479	569	746	523	713	607	14
FT-Cometa	786	674	727	678	711	603	562	702	910	625	789	706	8
FUNDACEP38	548	501	611	527	638	491	437	532	688	463	656	554	14
FUNDACEP39	905	858	957	907	1013	774	680	822	1062	839	976	890	10
FUNDACEP41	479	417	545	446	509	445	365	449	578	348	562	468	15
IAS5	586	503	653	562	600	534	449	546	785	454	680	577	13
KIS602	584	516	640	566	602	524	442	546	700	483	676	571	14
KIS702	590	485	649	530	600	529	400	551	727	423	651	558	15
M-SOY5942	637	574	687	575	643	614	473	591	733	474	668	606	11
M-SOY6101	656	586	712	650	714	616	525	608	789	521	758	649	12
M-SOY7501	596	508	664	566	650	534	472	562	758	474	700	589	14
M-SOY8001	733	671	820	760	862	677	600	694	910	664	880	752	12
NK412113	764	633	723	691	722	577	536	704	941	620	783	700	9
NK8350	771	651	718	678	729	603	544	693	929	625	817	705	8
OCEPAR-14	773	645	780	730	841	589	594	703	984	662	896	745	10
RB501	698	594	759	700	756	589	543	665	870	595	794	687	12
RB502	669	580	706	650	742	561	543	622	842	562	794	661	12
RB603	634	550	713	608	702	574	465	608	789	521	746	628	12
RB604	559	481	611	538	602	491	432	527	700	446	652	549	14
RB605	535	476	594	516	592	479	421	513	688	435	651	536	14

Os materiais foram plantados em 11 locais (Tabela 4.2), durante as safras agrícolas 2002/03 e 2003/04. Cada parcela experimental foi constituída de quatro linhas espaçadas entre si por 0,50 m, com 5 metros de comprimento, com densidade de 16 sementes por metro linear. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com duas repetições por local e ano. A semeadura em ambos os anos foi realizada entre a segunda e a terceira semanas de novembro. A adubação foi realizada de maneira a suprir as exigências nutricionais para ótima produtividade de acordo com cada local. As aplicações fitossanitárias foram realizadas de acordo com a necessidade, de maneira a garantir o desenvolvimento satisfatório da cultura, eliminando danos causados por plantas daninhas, insetos e patógenos.

**Tabela 4.2** – Municípios de teste das cultivares adaptadas à região centro-sul do Brasil, Unidade da Federação (UF), Latitude (LAT), Longitude (LONG) e Altitude em relação ao nível do mar em metros (ALT).

<b>Local</b>	<b>UF</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>	<b>ALT (m)</b>
Morro Agudo	SP	-20,73	-48,06	546
Maracaju	MS	-21,61	-55,17	384
Dourados	MS	-22,22	-54,81	430
Centenário do Sul	PR	-22,82	-51,60	560
Londrina	PR	-23,54	-51,10	832
Palotina	PR	-24,28	-53,84	335
Santa Tereza do Oeste	PR	-25,05	-53,63	749
Ponta Grossa	PR	-25,10	-50,16	975
Cascavel	PR	-25,96	-53,46	785
Passo Fundo	RS	-28,26	-52,41	690
Cruz Alta	RS	-28,64	-53,61	452

Para efeito de amostragem foram consideradas as duas linhas centrais de cada parcela. A data de florescimento foi considerada quando cada cultivar atingiu o estágio R1 da escala fenológica de Fehr e Caviness (1977), ou seja, quando 50%+1 das plantas apresentaram pelo menos uma flor aberta em qualquer parte da haste principal.

As variáveis utilizadas na modelagem foram Temperatura média (Tm), Temperatura-base mínima (Tb), Soma Térmica (ST) e Fotoperíodo médio (Fm). Considerou-se os efeitos lineares e quadráticos, segundo o modelo:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon \quad (1)$$

Onde  $y$  é a variável dependente Número de dias para florescimento (NDF) que se pretende atingir,  $\beta_0$  é o intercepto do eixo  $y$ ,  $\beta_i$  corresponde aos parâmetros,  $X_i$  são variáveis independentes, e  $k$  é o número de variáveis independentes ( $k=4$ ). Assumimos para este caso que as variáveis são aditivas, ou seja, não apresentam efeitos de interação entre elas.

Os dados diários de temperatura máxima e mínima relativos aos períodos considerados em cada local foram obtidos por Somar Meteorologia (2010). A temperatura média foi obtida através da média entre as temperaturas máxima e mínima.

O fotoperíodo foi estimado através da metodologia que leva em consideração o declínio solar e a latitude, ou seja, a data de semeadura e a latitude de cada local são características que determinam o comprimento do fotoperíodo, conforme pode ser verificado nas fórmulas a seguir:

$$\sigma_i = 23,45 \cdot \text{sen} \left[ \left( \frac{360}{365} \right) \cdot (284 + D_i) \right] \quad (2)$$

Onde  $D_j$  é o dia juliano (número de ordem a partir de primeiro de janeiro).

Com o valor da declinação solar, é possível calcular o ângulo do pôr do sol através da fórmula 3:

$$H_{p_i} = \arcsin (-\text{tgy} \cdot \text{tg}\sigma_i) \quad (3)$$

Onde  $H_{p_i}$  é o ângulo do pôr do sol (graus de décimos) no dia  $i$ ,  $\gamma$  é a latitude do local e  $\sigma_i$  é o declínio do sol no  $i$ -ésimo dia.

A partir do dado de  $H_{p_i}$  pode-se obter o fotoperíodo através da fórmula 4 a seguir:

$$Fp_i = \frac{(Hpi \cdot 2)}{15} \quad (4)$$

Onde  $Fp_i$ , é o fotoperíodo do i-ésimo dia (em horas).

A temperatura base da fase vegetativa de cada cultivar foi obtida através da metodologia proposta por Arnold (1959) da menor variabilidade da soma térmica.

A soma térmica foi obtida através do somatório das diferenças da temperatura média diária e da temperatura base durante a fase vegetativa de cada cultivar em cada ambiente.

Os modelos foram obtidos através do software XLSTAT (ADDINSOFT, 2010), que também realiza a validação dos mesmos.

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4.3 pode-se verificar os valores mínimos, máximos e médios, os desvios-padrão e os coeficientes de variação das variáveis utilizadas no modelo, sendo elas: NDF (número de dias até o florescimento),  $T_b$  (temperatura-base mínima em °C),  $T_m$  (temperatura média em °C),  $F_m$  (fotoperíodo médio em horas), e ST (soma térmica expressa em graus-dia).

O Número de Dias para o Florescimento (NDF) dos materiais variou de 32 (FT-Cometa em Centenário do Sul-PR na safra 2002/03) até 80 dias (CD208 e KI702 em Passo Fundo no ano agrícola 2003/04), apresentando uma média de 53 dias.

Os dados de temperatura-base ( $T_b$ ) previamente calculados, evidenciam a grande variabilidade e demonstram as diferentes respostas de taxa de desenvolvimento dos diferentes genótipos aos estímulos térmicos. Conseqüentemente, os resultados de soma térmica também apresentaram grande variabilidade, pois além das diferenças nas temperaturas-base para cálculo, houve diferenças entre os anos e locais de teste.

**Tabela 4.3** – Valores mínimos, máximos, médios, desvios-padrão e coeficiente de variaçãodas variáveis Número de Dias até o Florescimento (NDF), Temperatura-base em °C (Tb), Temperatura média em °C (Tm), Fotoperíodo médio em horas (Fm) e Soma Térmica em graus-dia (ST).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	CV%
NDF	32,50	80,00	52,94	10,37	19,58
Tb	8,00	15,00	12,60	1,96	15,53
Tm	21,29	26,73	24,66	1,16	4,70
Fm	13,14	13,84	13,44	0,20	1,47
ST	336,45	1096,30	629,26	135,48	21,53

Pode-se verificar que o fotoperíodo médio dos cultivares nos diferentes ambientes, apresentou pouca variabilidade que pode ser observado tanto pelo desvio padrão como pelo coeficiente de variação bem inferior quando comparados as outras variáveis relacionadas à temperatura (Tb, Tm e ST).

Como pode ser observado na Tabela 4.4, todas as equações testadas foram significativas a 0,01% de probabilidade de erro do tipo 1, porém quando levado em consideração o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), verificamos que os modelos mais adequados para a finalidade do trabalho, são aqueles que utilizam no mínimo 4 variáveis, atingindo valores de  $R^2$  superiores a 98%. Além do coeficiente de determinação elevado, deve-se também verificar o QMR (Quadrado Médio do Resíduo), sendo que quanto menor se apresentar este valor, mais preciso e confiável é o modelo. A partir da utilização de 4 variáveis, o QMR apresenta valor inferior a 1,74. Apenas os modelos que utilizam 6 ou 7 variáveis passaram a considerar o dado de fotoperíodo médio.

**Tabela 4.4** – Número de Variáveis utilizadas na obtenção do modelo, Variáveis utilizadas, Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), Quadrado Médio do Resíduo (QMR) e Probabilidade do Modelo.

No. de Variáveis	Variáveis	$R^2$	QMR	Pr > F
1	ST	0,354	69,195	<0.0001
2	ST / Tb <sup>2</sup>	0,719	30,151	<0.0001
3	Tm / ST / Tb <sup>2</sup>	0,971	3,076	<0.0001
4	Tm / ST / Tb <sup>2</sup> / ST <sup>2</sup>	0,984	1,743	<0.0001
5	Tm / ST / Tb <sup>2</sup> / Tm <sup>2</sup> / ST <sup>2</sup>	0,984	1,705	<0.0001
6	Tm / ST / Tb <sup>2</sup> / Tm <sup>2</sup> / Fm <sup>2</sup> / ST <sup>2</sup>	0,984	1,684	<0.0001
7	Tb / Tm / ST / Tb <sup>2</sup> / Tm <sup>2</sup> / Fm <sup>2</sup> / ST <sup>2</sup>	0,984	1,685	<0.0001

A Tabela 4.5, foi obtida a partir do cálculo da diferença entre o número de dias para florescimento observado e o número de dias para florescimento calculado, sendo a seguir agrupado em intervalos de diferenças e obtida a frequência acumulada para a utilização de 4, 5 ou 6 variáveis para a construção do modelo. Quando se trabalha com regressão múltipla, o ideal é obter o mais alto relacionamento explanatório utilizando o menor número de variáveis independentes, para não reduzir de maneira desnecessária o número de graus de liberdade que o aumento de variáveis acarretaria. Rodrigues et al. (2001) concluíram que o modelo de regressão linear foi eficiente para estimar o número de dias entre a semeadura e o florescimento.

Pode-se afirmar que utilizando 4 variáveis, em mais de 96% dos casos temos uma diferença igual ou inferior a 3 dias entre o número de dias para florescimento observado e estimado, justificando a escolha por esta opção.

**Tabela 4.5** – Comparação da frequência acumulada (%), de intervalos de diferença entre os florescimentos calculados e real, obtidos da utilização de 3, 4, 5 ou 6 variáveis na construção do modelo de previsibilidade.

Classe	FREQUENCIA ACUMULADA (%)			
	3 Var.	4 Var.	5 Var.	6 Var.
$0 \leq e \leq 0,5$	37,56	29,56	32,58	33,03
$0,5 < e \leq 1$	53,39	64,25	64,86	63,80
$1 < e \leq 2$	77,68	88,08	88,84	89,14
$2 < e \leq 3$	90,05	96,38	96,08	96,08
$3 < e \leq 4$	95,63	98,94	98,64	98,64
$e > 4$	100,00	100,00	100,00	100,00

Onde  $e$  = diferença entre o NDF estimado e NDF observado, em módulo

A tabela 4.6 mostra as estimativas dos parâmetros do modelo de regressão múltipla, com os respectivos testes t de Student e intervalo de confiança, considerando o modelo com quatro variáveis. Os testes t mostram que os parâmetros diferem de zero, ou seja, rejeita-se a hipótese nula  $H_0 = 0$ .

Assim como no modelo encontrado no presente trabalho, Brown e Chapman (1960) obtiveram resultados que lembram uma expressão quadrática utilizando somente dados de temperatura de 3 cultivares em vários locais de teste.

**Tabela 4.6** – Tabela Estatística do Modelo

Fonte	Valor	Erro padrão	T	Pr >  t	Lim. Inf. (95%)	Lim. Sup. (95%)
Intercepto	66,292	1,398	47,419	<0.0001	63,547	69,037
Tm	-4,598	0,045	-102,764	<0.0001	-4,686	-4,511
ST	0,144	0,003	50,729	<0.0001	0,138	0,149
Tb <sup>2</sup>	0,177	0,001	128,437	<0.0001	0,175	0,180
ST <sup>2</sup>	-4,610E-05	0,000	-22,390	<0.0001	0,000	0,000

Através da metodologia de análise de regressão múltipla, a seguinte função matemática do modelo foi encontrada:

$$NDF_c = 66,292 - 4,598xTm + 0,144xST + 0,177xTb^2 - 0,461x10^{-5}xST^2 \quad (2)$$

Onde:

NDF<sub>c</sub>: Número de Dias para o Florescimento da Cultura (calculado);

Tm: Temperatura média do intervalo semeadura-florescimento em cada local (°C);

ST: Soma Térmica de cada cultivar em um dado local (graus-dia);

Tb<sup>2</sup>: Temperatura-base de cada cultivar elevada ao quadrado (°C);

ST<sup>2</sup>: Soma Térmica de cada cultivar em um dado local elevado ao quadrado (graus-dia)

A temperatura média do período vegetativo no local considerado assume valor negativo no modelo, de forma que o aumento da temperatura média reduz o número de dias necessário para a cultura atingir a fase de florescimento, confirmando os resultados obtidos anteriormente por diversos autores (HESKETH et al., 1973; BOARD; HALL, 1984; MAJOR et al., 1975b; OLIVEIRA et al., 1999; CARPENTIERI-PIPOLO et al., 2002).

A soma térmica assume valor positivo no modelo, ou seja, para uma mesma temperatura-base e mesmo local, quanto maior é o valor de graus-dia necessário para que a planta acumule até atingir o estágio reprodutivo, maior é o número de dias necessário para que seja atingido.

De forma similar, a temperatura-base também assume valor positivo no modelo, assim, quando comparamos dois materiais com um mesmo valor de soma térmica para o mesmo ambiente, o material que apresenta a temperatura-base inferior irá atingir de maneira mais rápida o florescimento.

Em termos práticos do modelo, para que o produtor possa estimar a data de florescimento de um dado material em sua propriedade, ele deve contar com os dados de temperatura-base do genótipo e de sua respectiva soma térmica ajustada para o local previamente definidos. Os dados de temperatura média podem ser obtidos através das normais climatológicas, ou para uma maior precisão, recomenda-se que sejam utilizados os dados da safra corrente.

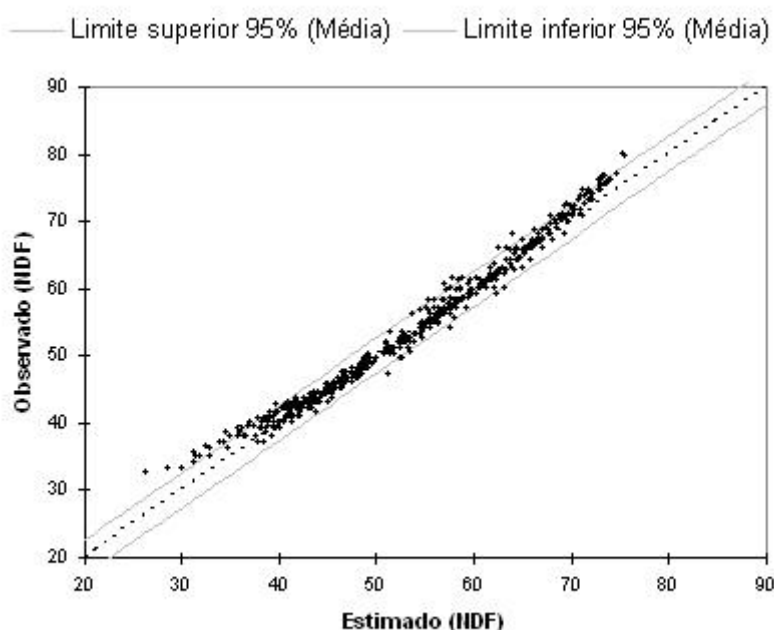
A menor influência do fotoperíodo no modelo pode ser explicada porque a semeadura foi realizada na época adequada (concentrada na segunda e terceira semana de novembro) e dentro de regiões de adaptação pré-estabelecidas. Lawn e Byth (1973) verificaram que a influência significativa e isolada do fator temperatura sobre o ciclo da cultura da soja pode ocorrer quando as cultivares são insensíveis ao fotoperíodo ou quando há condições com ausência de variação fotoperiódica. Quando ocorre uma mesma condição fotoperiódica, a temperatura apresentou importância preponderante no ciclo de determinado cultivar também para Hartwig (1954) e Basnet et al. (1974). Além disso, Sinclair et al. (1991) concluíram que a temperatura foi um fator mais importante do que o fotoperíodo durante o período vegetativo da cultura, já que durante esta fase pode ocorrer juvenilidade ou insensibilidade do genótipo ao fotoperíodo. Rodrigues et al. (2001), encontraram respostas adequadas em um modelo de regressão linear utilizando também o fotoperíodo, porém encontrou coeficientes distintos para cada genótipo e estes foram bem menores para o fotoperíodo quando comparados a temperatura. Provavelmente para o presente estudo, para todos os cultivares estudados o fotoperíodo crítico de todos os ambientes não foi longo o suficiente para inibir o início do florescimento. Collinson et al. (1993) também comentam que os esforços dos melhoristas de soja têm se concentrado em obter plantas com maior período de insensibilidade ao fotoperíodo (juvenilidade). Spehar (1995) comenta que a estratégia de melhoramento genético para obter cultivares de alta performance adaptados à condição de cerrados brasileiro, envolve a presença de juvenilidade (insensibilidade aos estímulos luminosos). Acock et al. (1994) comenta que o conhecimento da juvenilidade de cada material estudado é fundamental para a predição do florescimento da cultura.

Para todos os ambientes o fotoperíodo médio diário variou muito pouco quando comparado por exemplo ao trabalho de Sinclair et al. (1991) que apresentou diferenças fotoperiódicas entre 11 e 15 horas diárias.

A maior importância da temperatura neste modelo, também pode ajudar a explicar porque ocorrem variações do número de dias para florescimento de um ano para outro quando um mesmo genótipo é cultivado em mesmo local, como observado anteriormente por Garner e Allard (1920).

A Figura 1 apresenta a correlação entre o  $NDF_e$  e o  $NDF_o$ , ou seja, estimado e observado. A correlação é praticamente linear perfeita positiva, já que o valor de  $r$  é de 99,2%. Tal valor foi superior quando comparado a outros trabalhos baseados em modelos de regressão linear como Constable e Rose (1988) e Summerfield et al., (1989) que encontraram valores de  $R^2$  entre 74% a 89% e 74% a 94% respectivamente. Constata-se que o modelo atende muito bem e que é uma ferramenta eficaz e importante na previsão da data de florescimento da cultura da soja. As duas linhas não-hachuradas delimitam o intervalo de confiança para a média de NDF. O gráfico posiciona as maiores concentrações de erro do modelo quando a data de florescimento se concentra nas faixas extremas mais precoces e mais tardias. Diferentemente dos resultados obtidos por Major et al. (1975b) e por Criswell e Hume (1972), não houve maior acurácia na previsibilidade dos materiais mais precoces em relação aos materiais mais tardios, considerando também somente a temperatura como base dos trabalhos.

**Figura 4.1** – Correlação entre o Número de Dias para o Florescimento Estimado e Observado.



Rodrigues et al. (2001) e Brown e Chapman (1960), apesar de terem utilizado modelos com base em regressão linear múltipla, utilizaram dados de temperatura e fotoperíodo, não utilizando a soma térmica (ou temperatura acumulada acima da temperatura base) nos seus modelos. Brown e Chapman (1960) encontrou alta correlação do desenvolvimento da cultura com a temperatura em todos os estágios de desenvolvimento analisados. Zhang et al. (1995) também encontraram correlações ótimas utilizando dados de graus-dia em seus modelos utilizando como temperatura base mínima 10°C e máxima de 30°C.

#### 4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo encontrado para estimar o número de dias necessário até o florescimento para cada cultivar e ambiente se mostrou estatisticamente eficaz.

Em função da baixa variabilidade entre o fotoperíodo médio dos ambientes, este não demonstrou relevância para a construção do modelo, evidenciando a necessidade de estudos em maiores amplitudes de latitude e de épocas de semeadura para melhor entendimento deste componente.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

A metodologia empregada para estimar a temperatura-base mínima foi eficiente para a fase vegetativa da cultura, apresentando variação de 8 a 15°C de acordo com o genótipo. Os materiais de hábito de crescimento indeterminado apresentaram valores inferiores quando comparado aos determinados. Para a fase reprodutiva e o ciclo total da cultura, a metodologia não foi eficiente para a determinação da temperatura-base mínima.

A regressão encontrada, se mostrou estatisticamente eficaz para estimar o número de dias que os genótipos em estudo atinjam a fase reprodutiva para a região centro-sul do Brasil, com um coeficiente de determinação de 98,4%, sendo que as variáveis eficientes na aplicação do modelo foram a temperatura-base, soma térmica e a temperatura média do local. O fotoperíodo não demonstrou relevância para a construção do modelo, evidenciando a necessidade de estudos em maior número de ambiente com ampla variação de latitude e de épocas de semeadura para melhor entendimento deste componente.

## REFERÊNCIAS

- ACOCK, M. C.; BUNCE, J. A.; ACOCK, B. Effect of changing daylength on flower initiation and development in two soybean cultivars. **Biotronics**, v.23, p. 93-104, 1994.
- ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M. N.; OLIVEIRA, M. R.; PITOL, C.; PRADO, L. C.; STECKLING, C. U. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, Madison, v.49, p. 801-808, 2009.
- ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **American Society for Horticultural Science**. v.74, p. 430-445, 1959.
- ATHAYDE, M.L.F.; RODRIGUES, R. & ARF, O. Comportamento de cultivares de soja em semeadura tardia na região de Jaboticabal (SP). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., Campinas, 1984. **Anais...** Londrina, EMBRAPA/CNPSo, 1984. p.441-448.
- BASNET, B.; MADER, E. L.; NICKELL, C. D. Influence of altitude on seed yield and other characters of soybeans differing in Sikkim (Himalayan Kingdom). **Agronomy Journal**, Madison, v.66, p.531-533, 1974.
- BONATO, E. R.; VELLO, N. A. E6, a dominant gene conditioning early flowering and maturity in soybeans. **Genetics and Molecular Biology**, v.22, p. 229-232, 1999.
- BOARD, J.; HALL, W. Premature lowering in soybean yield reductions at nonoptimal planting dates as influenced by temperature and photoperiod. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p. 700-704, jul. aug. 1984.
- BROWN, D. M.; CHAPMAN, L. J. Soybean Ecology. II. Development-Temperature-Moisture relationships from field studies. **Agronomy Journal**, Madison, v.53, n.9, p. 496-499, 1960.
- BRUNINI, O.; LISBAO, R. S.; BERNARDI, J. B.; FORNASIER, J. B. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, Campinas, v.35, n.19, p.213-219, 1976.
- BRUNS, H. A. A survey of factors involved in crop maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v.1, n.101, p. 60-66, 2009.
- CÂMARA, G. M. S., **Como a planta de soja se desenvolve**. Piracicaba-SP: POTAFÓS, 1998. (Tradução/Artigo).
- CÂMARA, G. M. S. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura no crescimento, florescimento e maturação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 1991 Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Temperatura base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p. 115-121, 1987.

CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade para a cultura da soja no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p. 279-292, 1986.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; ALMEIDA, L. A., KIIHL, R. A. Inheritance of a long juvenile period under short-day conditions in soybean. **Genetics and Molecular Biology**, v.25, n.4, p. 463-469, 2002.

COBER, E. R.; STEWART, D. W.; VOLDENG, H. D. Photoperiod and temperature responses in early-maturing near-isogenic soybean lines. **Crop Science**, Madison, v.41, p. 721-728. 2001.

COBER, E. R. TANNER, J. W.; VOLDENG, H. D. Genetic control of photoperiod response in early-maturing, near-isogenic soybean lines. **Crop Science**, Madison, v.36, p. 601-605, 1996a.

COBER, E. R.; TANNER, J. W.; VOLDENG, H. D. Soybean photoperiod-sensitivity loci respond differentially to light quality. **Crop Science**, Madison, v.36, p. 606-610, 1996b.

COLLINSON, S. T.; SUMMERFIELD, R. J.; ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. Durations of the photoperiod-sensitive and photoperiod-insensitive phases of development to flowering in four cultivars of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Annals of Botany**, v.71, p. 389-394, 1993.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Oitavo levantamento de grãos – maio de 2011**. Disponível em: <[HTTP://www.conab.gov.br/](http://www.conab.gov.br/)>. Acesso em: 23 maio 2011.

CONSTABLE, G. A.; ROSE, I.A. Variability of soybean phenology response to temperature, daylength and rate of change in daylength. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.18, p. 57-69, 1988.

CREGAN, P. B.; HARTWIG, E. E. Characterization of flowering response to photoperiod in diverse soybean genotypes. **Crop Science**, Madison, v.24, p. 659-662, 1984.

CRISWELL, J. G.; HUME, D. J. Variation in sensitivity to photoperiod among early maturing soybeans strains. **Crop Science**, Madison, v.12, p. 657-660, 1972.

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; FARIA, R. T.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A.; HELBEL JUNIOR, C. Ajuste e teste dos coeficientes genéticos do modelo de simulação cropgro-soybean, para a região noroeste do estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p. 363-371, 2005.

DEOSTHALI, V. **Estimation of soybean growth and yield by CROPGRO-Soybean model**. Technical report 2/04. University of Pune, New Delhi, 2004.

DESTRO, D.; CARPENTIERI-PIPOLO, V.; KIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A. Photoperiodism and genetic control of the long juvenile period in soybean: a review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, n.1, p. 72-92, 2001.

DOURADO, D. D.; TERUEL, D. A.; REICHARDT, K. NIELSEN, D. R.; FRIZZONE, J. A.; BACCHI, O. O. S. Principles of crop modeling and simulation: I. Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia agricola**, Piracicaba, v.55, p.51-57, agosto 1998a.

DOURADO, D. D.; TERUEL, D. A.; REICHARDT, K. NIELSEN, D. R.; FRIZZONE, J. A.; BACCHI, O. O. S. Principles of crop modeling and simulation: II. The implications of the objective in model development. **Scientia agricola**, Piracicaba, v.55, p.51-57, agosto 1998b.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistemas de produção. **Tecnologias de Produção de Soja – Paraná 2007**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2006. 217p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistemas de produção. **Tecnologias de Produção de Soja da Região Central do Brasil 2011**. Londrina: EMBRAPA SOJA: EMBRAPA CERRADOS: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE, 2010. 255p.

FAO, Faostat. Disponível em: <[HTTP://www.fao.org/](http://www.fao.org/)>. Acesso em: 21 dez. 2010.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of Soybean Development**. Spec. Rep. 80. Iowa State Univ., Ames, 1977.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merril. **Crop Science**, Madison, v.11, p. 929-931. nov. dec., 1971.

GARNER, W. W.; ALLARD, H. A. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. **Journal of Agricultural Research**, v.18, p.553-606, 1920.

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

GRAHAM, M. J.; NICKELL, C. D.; RAYBURN, A. L. Relationship between genome size and maturity group in soybean. **Theoretical and Applied Genetics**. v.88, p. 429-432, 1994.

GREILHUBER, J.; OBERMAYER, R. Genome size and maturity group in *Glycine max* (soybean). **Heredity**. v.78, p. 547-551, 1997.

GRIMM, S. S.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; HESKETH, J. D. Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. **Crop Science**, Madison, v.33, p. 137-144, 1993.

GRIMM, S.S.; JONES, J.W. BOOTE, K.J. HERZOG, D.E. Modeling the occurrence of reproductive stages after flowering for 4 soybean cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p. 31-38, 1994.

HARTWIG, E. T. **Factors affecting time of planting soybeans in the Southern States**. Washington, DC: United State Department of Agriculture, 1954, 13p.

HATFIELD, J. L.; EGLI, D. B. Effect of temperature on the rate of soybean hypocotyl elongation and field emergence. **Crop Science**, Madison, v.14, p. 423-426, may. june. 1974

HESKETH, J. D.; MYHRT, D. L.; WILLEY, C.R. Temperature control of times intervals between vegetative and reproductive events in soybean. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p.117-123, 1973.

HODGES, T.; FRENCH, V. Soyphen: soybean growth stages modeled from temperature, daylength and water availability. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p. 500-505, 1985.

KUMUDINI, S. V.; PALLIKONDA, P. K.; STEELE, C. Photoperiod and E-genes influence the duration of the reproductive phase in soybean. **Crop Science**, Madison, v.47, p. 1510-1517, july/ august. 2007.

LAWN, J. R.; BYTH, D. E. Response of soybeans to planting date in southeastern Queensland. Influence of photoperiod and temperature on phasic development patterns. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourn, v.24, n.1, p.67-80, jan. 1973.

MAJOR, D. J.; JOHNSON, D. R.; LUEDDERS, V. D. Evaluation of eleven thermal unit methods for predicting soybean development. **Crop Science**, Madison, v.15, p. 172-174, 1975a.

MAJOR, D. J.; JOHNSON, D. R.; TANNER, J. W.; ANDERSON, I. C. Effects of daylength and temperature on soybean development. **Crop Science**, Madison, v.15, p. 174-179, march / april, 1975b.

MAVROMATIS, T.; BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; IRMAK, A.; SHINDE, D.; HOOGENBOOM, G. Developing genetic coefficients for crop simulation models with data from crop performance trials. **Crop Science**, Madison, v.41, p.40-51, jan. feb., 2001.

MEDINA, P.F.; RAZERA, L. F.; MARCOS FILHOS, J.; BORTOLETTO, N. Produção de sementes de cultivares precoces de soja em duas épocas e dois locais paulistas: I. Características agrônômicas e produtividade. **Bragantia**. v.56, n.2, p.291-303. Campinas, 1997.

MESSINA, C. D.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; VALLEJOS, C. E. A gene-based model to simulate soybean development and yield responses to environment. **Crop Science**. v.46, p. 456-466, Madison, 2006.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estádios de Desenvolvimento da cultura da soja. In.: BONATO, E. R., Ed. **Estresses em Soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 254 p.

NISSLY, C. R.; BERNARD, R. L.; HITTLE, C. N. Variation in photoperiod sensitivity for time of flowering and maturity among soybean strains of maturity group III. **Crop Science**, Madison, v.21, p.833-836, nov. dec., 1981.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, H. B.; TEIXEIRA, R. C. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. **Tecnologias de Produção e Usos da Soja**. Londrina: Mecenaz, 2009.

OLIVEIRA, A. C. B.; SEDIYAMA, C. S.; CRUZ, C. D. Selection for later flowering in soybean (*Glycine max* L. Merrill) F2 populations cultivated under short day conditions. **Genetics and Molecular Biology**, v.22, n.1, p. 243-247, 1999.

PEDERSEN, P.; BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; LAUER, J.G. Modifying the CROPGRO-Soybean model to improve predictions for the upper Midwest. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p. 556-564, 2004.

PEDRO JUNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; MORAES, A. V. C.; FELICIO, J. C.; CASTRO, J. L. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.-447-453, 2004.

PIPER, E. L.; BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; GRIMM, S. S. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. **Crop Science**, Madison, v.36, p. 1606-1614, 1996.

PURCELL, L. C. Comparison of thermal units derived from daily and hourly temperatures. **Crop Science**, Madison WI, USA, v.43, p. 1874-1879, 2003.

QUEIROZ, E. F.; MOLION, L. C. B.; GAUDÊNCIO, C. A.; GARCIA, A. Um modelo matemático de previsão da data de ocorrência de estádios fenológicos de três cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.8, p.533-542, ago. 1996.

REDDY, V. R.; ACOCK, B.; WHISLER, F. D. Crop management and input optimization with GLYCIM: differing cultivars. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.13, n.1, p.37-50, ago. 1995.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, p. 431-437, mar. 2001.

SAMESHIMA, R. A new method for predicting flowering stage in soybean. **JARQ**. v.25, p. 149-153, 1991.

SCHÖFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Relative contribution of air temperature in the development of three soybean cultivars. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p. 97-104, 2002.

SEDDIGH, M.; JOLLIFF, G. D.; ORF, J. H. Night temperature effects on soybean phenology. **Crop Science**, Madison, v.29, p. 400-406, 1989.

SEDDIGH, M.; JOLLIFF, G. D. Night temperature effects on morphology, phenology, yield and yield components of indeterminate field-grown soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.824-828, sep. oct., 1984.

SHANMUGASUNDARAM, S.; TSOU, S. C. S. Photoperiod and critical duration for flower induction in soybean. **Crop Science**, Madison, v.18, p. 598-601, jul. aug., 1978.

SINCLAIR, T. R.; KITANI, S.; HINSON, K.; BRUNIARD, J.; HORIE, T. Soybean flowering date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. **Crop Science**, Madison, v.31, p. 786-790, 1991.

SOMAR METEOROLOGIA. **Dados observados em tempo agora vip**. Disponível em: <[HTTP://www.tempoagora.com.br](http://www.tempoagora.com.br)>. Acesso em: 25 de jan. 2010.

SPEHAR, C. R. Impact of strategic genes in soybean on agricultural development in the Brazilian tropical savannahs: a Review. **Field Crops Research**, v.41, p. 141-146, 1995.

STEWART, D. W.; COBER, E. R.; BERNARD, R. L. Modeling Genetic Effects on the Photothermal response of soybean phenological development. **Agronomy Journal**, Madison, v.95, p.65-70, 2003.

SUMMERFIELD, R.J.; ROBERTS, E. H.; LAWN, R.J. Measurement and prediction of flowering in soybeans in fluctuating field environments. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., 1989, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: Argentina Soybeans Association, 1989. P. 82-87.

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. Mathematical models in agriculture. **Quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2<sup>nd</sup> ed. CABI publishing. Wallingford: 2007.887 p.

TOLEDO, N. T.; MULLER, A. G.; BERTO, J. L. Modelagem matemática do desenvolvimento da soja. In: CNMAC, 3., 2007, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: CNMAC, 2007.

TOLEDO, J. F. F.; OLIVEIRA, M. F.; TSUTIDA, A. C.; KIIHL, R. A. S. Genetic analysis of growth of determinate soybean genotypes under three photoperiods. **Revista Brasileira de Genética**, v.16, n.3, p.713-748, 1993.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Acreage report - Release June 30, 2010. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1048/>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

WILKERSON, G. G.; JANES, J. W.; BOOTE, K. J. Photoperiodically sensitive interval in time to flower of soybean. **Crop Science**, Madison, v.29, p.721-726. 1989.

WUTKE, E. B.; et al. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.55-61, 2000.

ADDINSOFT: software for statistical analysis. Paris: ADDINSOFT, 2010.

ZHANG, L.; ZHANG, J.; WATSON, C. E.; KYEI-BOAHEN, S. Developing phenological prediction tables for soybean. Online. **Crop Management**. doi:10.1094/CM-2004-1025-01-RS. St. Paul, outubro, 2004.

ZHANG, L.; WANG, R.; HESKETH, J. D. Effects of photoperiod on growth and development of soybean floral bud in different maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, p. 944-948, 2001.

ZHANG, L.; WANG, R. F.; HESKETH, J. D. Separating photoperiod and temperature effects on the degree day requirement for floral events in soybean. **Biotronics**, v.24, p.59-64, 1995.