

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 47-54, 1998.

Recebido para publicação em 24/06/97. Aprovado em 16/04/98.

ISSN 0104-1347

**ECOFISIOLOGIA DO FEIJOEIRO. III - INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS
BIOCLIMÁTICAS NA DURAÇÃO DE SUB-PERÍODOS FENOLÓGICOS E
DETERMINAÇÃO DE TEMPERATURA-BASE E GRAUS-DIA¹**

**ECOPHYSIOLOGY OF COMMON BEAN. III - INFLUENCE OF BIOCLIMATIC
VARIABLES ON THE DURATION OF PHENOLOGICAL PHASES AND
DETERMINATION OF BASE-TEMPERATURE AND DEGREE-DAYS.**

Angelo Mendes Massignam², Hamilton Justino Vieira³, Roger Delmar Flesch⁴ e Silmar Hemp⁵

RESUMO

Determinou-se a temperatura-base e os graus-dia necessários para os sub-períodos emergência à floração e floração à maturação fisiológica e caracterizaram-se as influências das variáveis bioclimáticas que mais interferiram na duração destes sub-períodos, através de um modelo estatístico de regressão múltipla. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. - Epagri em Campos Novos - SC e no Centro de Pesquisa para Pequenas Propriedades, em Chapecó - SC, nos anos agrícolas de 1986/87, 1988/89, 1989/90 e 1990/1991. O delineamento utilizado foi blocos casualizados com quatro repetições no esquema fatorial 12x2 (12 épocas e duas cultivares). As cultivares utilizadas foram Carioca 80 e Rio Tibagi. As épocas de semeadura foram espaçadas de 20 dias, com início em agosto (05/08 em Chapecó e 28/08 em Campos Novos). As temperaturas-base determinadas, pelo método estatístico e utilizadas no cálculo dos graus-dia foram 3°C para a cultivar

¹ Trabalho desenvolvido com recursos financeiro do CNPq e do Projeto Microbacias - BIRD e EPAGRI.

² Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agrometeorologia,, EPAGRI, EECN. CP.116, Fone/Fax (049) 541-0748. 89.620-000 - Campos Novos - SC. E-mail: massigna@epagri.rct-sc.br

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, EPAGRI, SEDE, Fone (048) 239-8050, Fax (048) 239-8065, 88.034-901 - Florianópolis- SC. E-mail: vieira@climerh.rct-sc.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, EPAGRI, CPPP. CP.791, Fone (049) 723-4877, Fax (049) 723-0600. 89.801-970 - Chapecó - SC.

Carioca 80 e -2°C para cultivar Rio Tibagi e a soma dos graus-dia para completarem o sub-período emergência à floração foram, em média, 813 e 1005 graus-dia, respectivamente. A temperatura do ar foi a variável que mais explicou a duração do sub-período emergência à floração e o uso da soma dos graus-dia foi mais preciso do que o calendário diário para a previsão deste sub-período. Temperatura média do ar, deficiência hídrica e excesso hídrico do solo não foram significativos nos modelos de regressão linear múltipla para a estimativa da duração do sub-período floração à maturação fisiológica. A utilização da soma dos graus-dia não é recomendada para a previsão do sub-período floração à maturação fisiológica para ambas as cultivares do feijoeiro.

Palavras-chave: feijoeiro, temperatura-base, graus-dia, temperatura do ar, deficiência hídrica, excesso hídrico.

SUMMARY

The purpose of this study was to determine the base-temperature and the degree-days for the emergence-flowering and flowering-physiological maturity phases and to characterize the influence of temperature, deficit and excess of water over the duration of these phases, by multiple regression analysis. The experiments were conducted at the Experimental Station of Epagri in Campos Novos - SC and at the Research Center for Small Farms (CPPP) in Chapecó - SC in the agricultural years of 1986/87, 1988/89, 1989/90 and 1990/91. The experimental design was randomized block in a factorial 12x2 (12 sowing of time and 2 cultivars). The cultivars used were Carioca 80 e Rio Tibagi. Sowing time were set at intervals of 20 days beginning on August. The base-temperature determined for the emergence-flowering phase was 3°C for Carioca 80 and -2°C for Rio Tibagi. The total degree-days necessary to complete the emergence-flowering phase was 813 for Carioca 80 and 1005 for Rio Tibagi. Air temperature was the environmental variable that best explained the duration of the emergence-flowering phase. The use of degree-days was more precise than the number of days to estimate the emergence-flowering phase. Air temperature, deficit and excess of water had not any influence on the duration of flowering-physiological maturity phase as indicated by the multiple regression models. The use of degree-days is not recommended to estimate the duration of flowering-physiological maturity phase.

Key words: bean, base-temperature, degree-days, air temperature, water deficit, water excess.

⁵ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, EPAGRI, CPPP. CP.791, Fone (049) 723-4877, Fax (049) 723-0600. 89.8010-970 - Chapecó - SC.

INTRODUÇÃO

Segundo WANG (1960), os estudos das interações clima-planta foram iniciados por Réaumur em 1735, sendo este considerado o precursor do sistema de unidades térmicas ou graus-dia, comumente utilizado para estimar a duração dos estádios de desenvolvimento de vegetais e para escolher a época de semeadura.

O conceito de graus-dia baseia-se no fato de que uma planta necessita de uma certa quantidade de energia, representada pelo somatório de temperatura acima de um valor mínimo (temperatura-base) para completar determinado sub-período ou mesmo todo o ciclo. Assim, a temperatura-base é definida como sendo a temperatura abaixo da qual a planta não se desenvolve e se o fizer é em quantidade muito reduzida. A temperatura-base do feijoeiro está entre 10,0 - 11,7°C (Baker e Strub apud MOTA et al., 1977) e 10°C (SMUCKER et al., 1978). SCARISBRIC et al. (1976) utilizaram para o cálculo do somatório de graus-dia para o feijoeiro uma temperatura-base de 10°C.

A deficiência hídrica adiantou a maturação fisiológica quando ocorreu durante o período reprodutivo (FARIA et al., 1997a). BERGAMASCHI et al. (1988) constataram que a deficiência hídrica no final do enchimento de grãos e na maturação fisiológica não afetou a duração do ciclo fenológico da cultura mas antecipou a maturação quando ocorreu após a emissão das primeiras vagens. Segundo ACOSTA et al. (1994) deficiência hídrica a partir da floração antecipou a maturação fisiológica em cinco dias, quando comparada com as parcelas irrigadas.

A deficiência hídrica atrasou os estádios fenológicos quando ocorreu antes da floração (BERGAMASCHI et al., 1988 e FARIA et al., 1997a).

O objetivo deste estudo foi determinar a temperatura-base e os graus-dia necessários dos sub-período emergência à floração e floração à maturação fisiológica e caracterizar as influências das variáveis meteorológicas que mais interferem na duração destes sub-períodos, através de um modelo estatístico de regressão múltipla.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. - Epagri em Campos Novos - SC e no Centro

de Pesquisa para Pequenas Propriedades, em Chapecó - SC, nos anos agrícolas 1986/87, 1988/89, 1989/90 e 1990/1991. O delineamento utilizado foi blocos casualizados com quatro repetições no esquema fatorial 12x2 (12 épocas e 2 cultivares). As cultivares utilizadas foram Carioca 80 e Rio Ti-bagi. As épocas de semeadura foram espaçadas de 20 dias, com início em agosto (05/08 em Chapecó e 28/08 em Campos Novos). Detalhes são apresentados no primeiro trabalho desta série (MASSIGNAM et al., 1998a).

O total de graus-dia necessários para completar os sub-períodos emergência à floração (EF) e floração à maturação fisiológica (FM) foi calculado a partir dos valores de temperaturas extremas do dia, de acordo com o proposto por VILLA NOVA et al. (1972).

Para a determinação da temperatura-base foi utilizado o método proposto por ARNOLD (1959) modificado por MASSIGNAM & ANGELOCCI (1993). Este método considera como valor representativo da temperatura-base aquele, dentro da faixa de valores pré-escolhidos (-7 a 13°C para EF e -17 a 13°C para FM), que originou o menor desvio-padrão dos graus-dia, para a série de semeaduras, expresso esse desvio em dia (sdm), de acordo com a expressão:

$$sdm = \frac{sdd \cdot \overline{NUM}}{\overline{GD}} \quad (1)$$

onde *sdd* é o desvio-padrão dos graus-dia para cada temperatura-base pré-escolhida (hipotética), \overline{GD} os graus-dia médios para cada temperatura-base pré-escolhida e \overline{NUM} a duração média do sub-período.

As durações dos sub-períodos EF e FM foram correlacionadas com as suas respectivas temperaturas médias, deficiências hídricas e excessos hídricos. O método empregado na seleção das variáveis foi o de regressão linear múltipla “Stepwise” (passo a passo), com probabilidade de erro $\alpha = 0,05$ para a variável entrar ou sair do modelo, segundo a expressão geral:

$$Num = a + bTmed + cDef + dExc \quad (2)$$

onde *Num* é o número de dias da EF, *Tmed* a temperatura média do sub-período EF, *Def* o total de deficiência hídrica do sub-período EF e *Exc* o total de excesso hídrico do sub-período EF.

A duração do sub-período EF também foi correlacionada com a temperatura e deficiência hídrica nos dois locais para as duas cultivares, através da regressão polinomial múltipla, segundo a expressão geral:

$$\begin{aligned}
Num = & a + bTmed + cTmed^2 + dDef + eDef^2 + \\
& + fTmed \times Def + gTmed^2 \times Def + \\
& + hTmed \times^2 + Def^2 + iTmed^2 \times Def
\end{aligned} \tag{3}$$

A duração do sub-período EF também foi correlacionada com a data de emergência nos dois locais para as duas cultivares. A data de emergência foi transformada em número de ordem dos dias do ano. Para os meses de janeiro a abril foi somado 364 dias ao número de ordem dos dias para ter uma continuidade para a regressão, segundo a expressão geral:

$$Num = a + bEmerg + cEmerg^2 \tag{4}$$

onde *Emerg* é a data de emergência expressa em número de ordem dos dias do ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de regressão linear múltipla “Stepwise” para a estimativa da duração do sub-período EF selecionou apenas as variáveis temperatura e deficiência hídrica como significativas nos modelos. A variável excesso hídrico não foi significativa. A partir destes resultados procurou-se desenvolver um modelo de regressão múltipla que explicasse os efeitos lineares e quadráticos das variáveis temperatura do ar e deficiência hídrica do solo, na duração do sub-período EF.

As análises de variância da regressão múltipla da duração, em dias, do sub-período EF em função da temperatura média do ar e da deficiência hídrica do solo foram significativas ao nível $\alpha = 0,01$, para cultivares as Carioca 80 e Rio Tibagi, apresentando as seguintes equações e coeficiente de regressão:

Para a cultivar Carioca 80:

$$\begin{aligned}
Num = & 188,651 - 12,357Tmed + \\
& + 0,247Tmed^2 + 0,065Def \quad r^2 = 0,67 \tag{5}
\end{aligned}$$

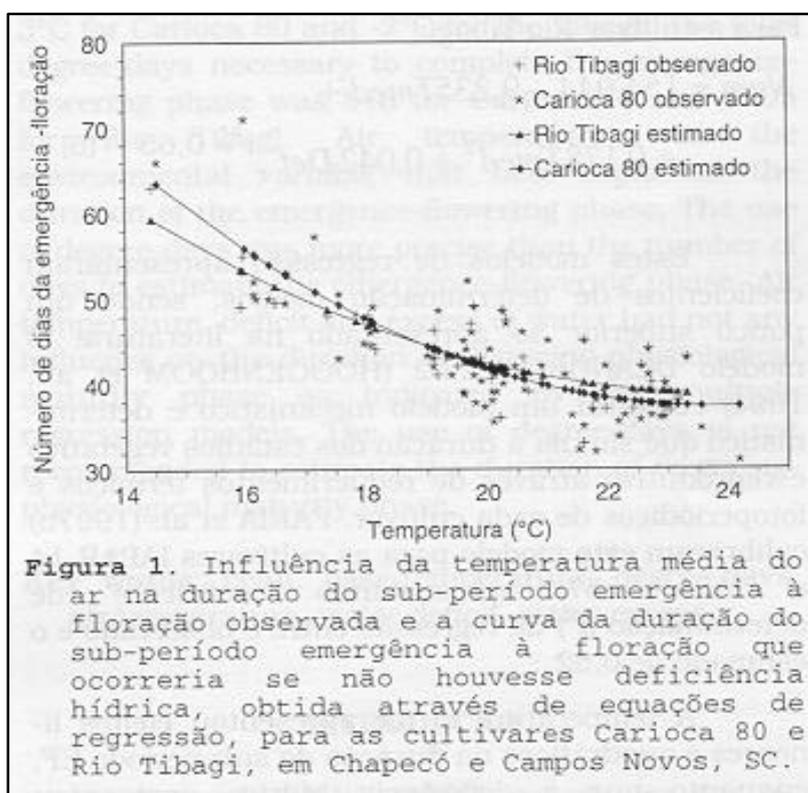
Para a cultivar Rio Tibagi:

$$\begin{aligned}
Num = & 154,944 - 9,235Tmed + \\
& + 0,178Tmed^2 + 0,042Def \quad r^2 = 0,65 \tag{6}
\end{aligned}$$

Estes modelos de regressão apresentaram coeficientes de determinação médios, sendo um pouco superior ao apresentado na literatura. O modelo BEANGRO V2.02 (HOOGENBOOM et al., 1994) constitui um modelo mecanístico e determinístico que simula a duração dos estádios vegeta-

tivo e reprodutivo através de requerimentos térmicos e fotoperiódicos de cada cultivar. FARIA et al. (1997b) calibraram este modelo para as cultivares IAPAR 14 e IAPAR 57 apresentando coeficiente de determinação (r^2) da regressão entre o observado e o estimado de 0,52.

A temperatura do ar apresentou efeitos lineares e quadráticos na duração do sub-período EF, enquanto que a deficiência hídrica apresentou apenas efeito linear. Não houve interação significativa, ao nível de 5 %, entre a temperatura e a deficiência hídrica. Na Figura 1 observa-se a influência da temperatura média do ar na duração do sub-período EF observada e a curva da duração do sub-período EF que ocorreria se não houvesse deficiência hídrica, obtida através de equações de regressão (equações 5 e 6).



Os modelos matemáticos da duração do sub-período EF apresentaram um coeficiente de determinação de 0,67 para a cultivar Carioca 80 e de 0,65 para a cultivar Rio Tibagi. Entretanto, os modelos matemáticos da duração do sub-período EF levando somente os efeitos lineares e quadráticos da temperatura apresentaram coeficiente de determinação de 0,61 para a cultivar Carioca 80 e de 0,60 para a cultivar Rio Tibagi, indicando assim, que a temperatura foi a variável que mais explicou a duração do sub-período EF. Entretanto, há outros fatores, além da temperatura e da deficiência hídrica, que influenciam a duração dos sub-períodos do feijoeiro, tais como: tipo de solo, adubação, sistema cultural, época de semeadura e níveis de irrigação (VIEIRA, 1991).

De acordo com as equações 5 e 6 , para cada 15,4 e 23,4mm de deficiência hídrica nas cultivares Carioca 80 e Rio Tibagi, respectivamente, o sub-período EF aumentou um (1) dia. Resultados semelhantes foram encontrados por BERGAMASCHI et al. (1988) e ROBINS & DOMINGO (1956).

A análise de variância da regressão múltipla da duração, em dias, do sub-período EF em função da data de emergência foi significativa ao nível de 0,01, para as cultivares Carioca 80 e Rio Tibagi, em Chapecó e em Campos Novos, apresentando as seguintes equações e coeficiente de regressão:

Para a cultivar Carioca 80, em Chapecó:

$$\begin{aligned} Num &= 151,883 - 0,640Emerg + 0,0009Emerg^2 \\ r^2 &= 0,42 \end{aligned} \quad (7)$$

Para a cultivar Rio Tibagi, em Chapecó:

$$\begin{aligned} Num &= 189,853 - 0,850Emerg + 0,011Emerg^2 \\ r^2 &= 0,62 \end{aligned} \quad (8)$$

Para a cultivar Carioca 80, em Campos Novos:

$$\begin{aligned} Num &= 281,301 - 1,335Emerg + 0,0019Emerg^2 \\ r^2 &= 0,68 \end{aligned} \quad (9)$$

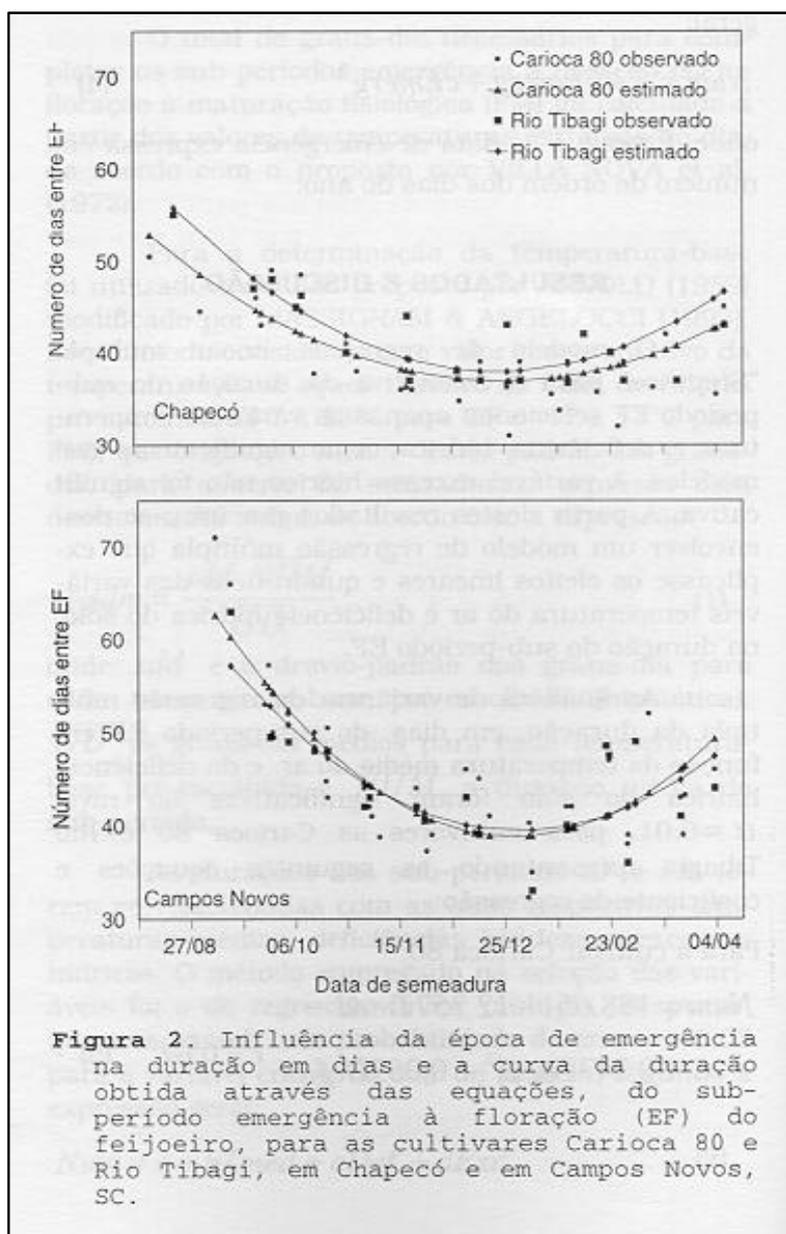
Equação de regressão para a cultivar Rio Tibagi, em Campos Novos:

$$\begin{aligned} Num &= 234,562 - 1,069Emerg + 0,0014Emerg^2 \\ r^2 &= 0,59 \end{aligned} \quad (10)$$

Na Figura 2 observa-se que houve diferença de comportamento das cultivares para os dois locais. Em Chapecó a cultivar Carioca 80 foi mais precoce do que a cultivar Rio Tibagi para todas as épocas de emergência. Em Campos Novos, a cultivar Carioca 80 foi tardia no início e no final da época de emergência. Na parte mediana, isto é, entre 01 de novembro até 23 de fevereiro, a cultivar Rio Tibagi foi mais tardia. Neste período, a temperatura do ar foi superior a 19,5°C, temperatura na qual ocorre uma mudança de resposta entre as duas cultivares, com relação a temperatura média do ar, como pode ser observado na Figura 1.

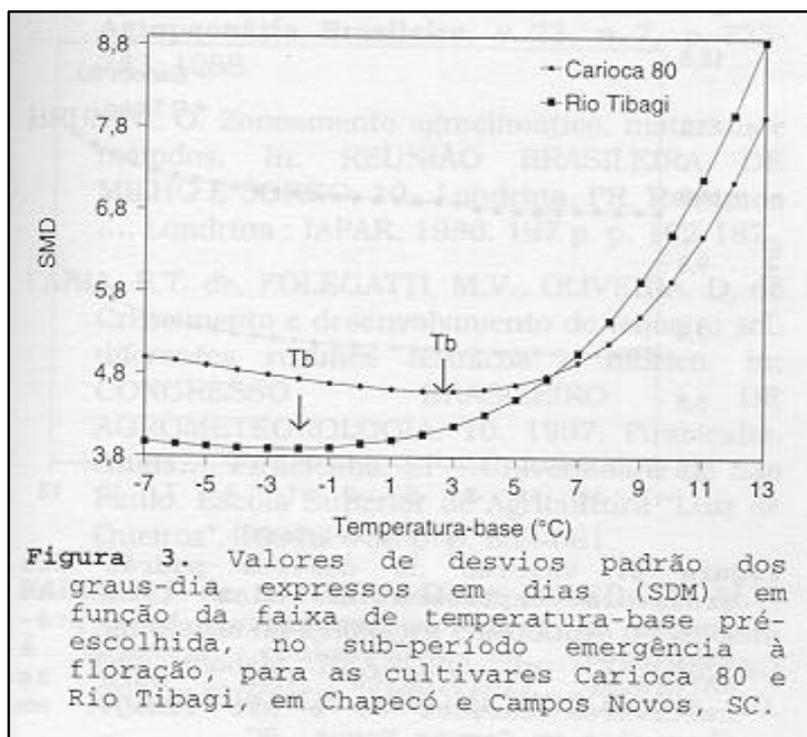
Em Campos Novos, a duração do sub-período EF foi maior que em Chapecó (Figura 2). Esta diferença foi maior no início e no final da época de emergência. Este fato pode ser explicado pelas temperaturas médias de Chapecó terem sido mais elevadas que em Campos Novos. Nas

épocas de emergência de novembro a fevereiro esta diferença diminuiu em virtude das temperaturas médias nos dois locais estarem em torno de 20 a 24°C, faixa de temperatura em que as cultivares apresentaram pouca diferença do número de dias do sub-período, por estarem próximos do ponto de mínima da parábola (Figura 1). Por outro lado, em Chapecó a deficiência hídrica foi maior neste período quando comparada com Campos Novos (MASSIGNAM et al., 1998b) e com o aumento da ocorrência de deficiência hídrica houve aumento no número de dias neste sub-período. Conseqüentemente, a maior deficiência hídrica em Chapecó fez com que aumentasse a duração do sub-período EF, diminuindo assim, esta diferença nas semeaduras de novembro a fevereiro.



A temperatura-base determinada para o sub-período EF foi de 3°C para a cultivar Carioca 80 e -2°C para a cultivar Rio Tibagi (Figura 3). A Figura 4 apresenta o coeficiente de determinação (r^2)

da regressão linear entre a duração do sub-período EF observada e a estimada pelo método da soma dos graus-dia em função de cada temperatura-base utilizada no cálculo dos graus-dia. O coeficiente de determinação da regressão linear variou de 0,56 a 0,59 para a cultivar Carioca 80 e de 0,51 a 0,58 para a cultivar Rio Tibagi e não diferiram significativamente ao nível de 5%, para ambas as cultivares, dentro da faixa de temperatura-base de -7 a 13°C, (o teste de comparação entre os coeficientes de correlação foi aplicado conforme GOMES, 1982). indicando, assim, que a estimativa da duração do sub-período EF não diferiu quando a temperatura-base, utilizada no cálculo dos graus-dia, variou de -7 a 13°C. Os valores de temperaturas-base determinados não coincidiram com a temperatura-base fisiológica do feijoeiro, sendo meramente uma temperatura-base estatística utilizada no modelo de previsão da floração pois segundo KRANZ et al. (1991), a ocorrência de baixas temperaturas, menores que 12°C, pode inibir de forma significativa o desenvolvimento vegetativo das plantas e a formação de grãos do feijoeiro. A temperatura-base usada no sistema linear não necessariamente coincide com a temperatura-base fisiológica, pois a teoria dos graus-dia assume uma relação linear entre o desenvolvimento relativo e a temperatura do ar (ARNOLD 1959) e que as temperaturas do ar diurnas e noturnas são de igual importância para o crescimento e desenvolvimento da planta (BRUNINI, 1980 e ANGELOCCI & VILLA NOVA, 1985). ANDERSON et al. (1978), GOYNE et al. (1977) e MASSIGNAM & ANGELOCCI (1993) determinaram temperatura-base negativa para o girassol. Portanto, o método de determinação da temperatura-base proposto por ARNOLD (1959) e modificado por MASSIGNAM & ANGELOCCI (1993) não foi adequado para o sub-período EF do feijoeiro.



Os baixos valores de temperatura-base determinados, provavelmente, sejam devido ao baixo coeficiente de correlação da regressão entre a duração do sub-período EF e a temperatura do ar. MASSIGNAM & ANGELOCCI (1993) encontraram temperatura-base negativa para o sub-período floração à colheita do girassol e este sub-período teve baixo coeficiente de correlação da regressão entre a duração do sub-período e a temperatura do ar. O método da determinação da temperatura-base utiliza-se do modelo dos graus-dia e sendo a temperatura do ar a variável utilizada neste modelo. Portanto, a determinação da temperatura-base será mais precisa quando a temperatura do ar estiver altamente correlacionada com a duração deste sub-período.

Os modelos matemáticos da duração do sub-período EF, considerando os efeitos lineares e quadráticos da temperatura, apresentaram coeficiente de determinação de 0,61 para a cultivar Carioca 80 e de 0,60 para a cultivar Rio Tibagi, sendo estes valores muito próximos aos coeficientes de determinação da regressão linear entre a duração do sub-período EF observada e a estimada pelo método dos graus-dia, que foram de 0,59 para a cultivar Carioca 80 e de 0,58 para a cultivar Rio Tibagi (maiores valores na faixa de temperatura-base pré-escolhida de -7 a 13°C). MASSIGNAM (1987) também encontrou valores muito próximos entre os coeficientes de determinação da regressão linear entre a duração do sub-período EF observada e a estimada pelo método dos graus-dia e os da regressão entre a duração do sub-período EF considerando os efeitos lineares e quadráticos da temperatura, para girassol. Segundo MASSIGNAM (1987), a previsão de ocorrência da duração de um sub-período fenológico através dos graus-dia é mais precisa quando o efeito linear da temperatura estiver altamente correlacionado com a duração deste período.

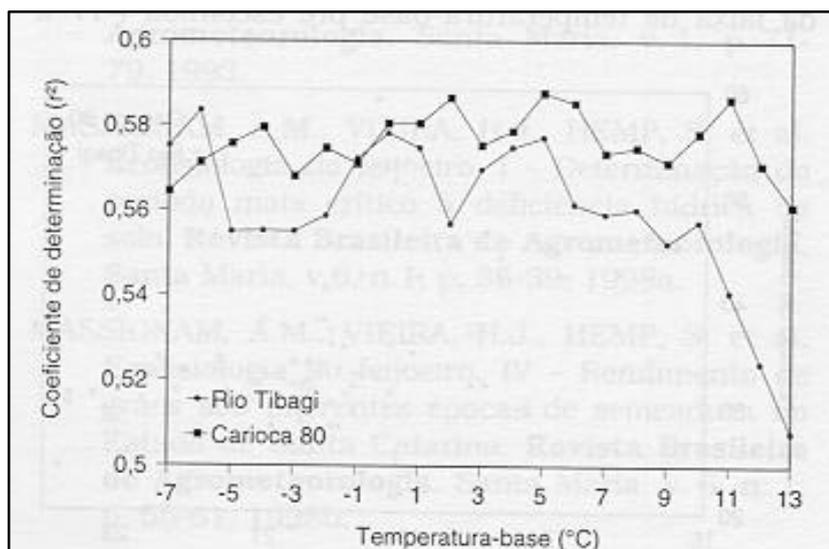
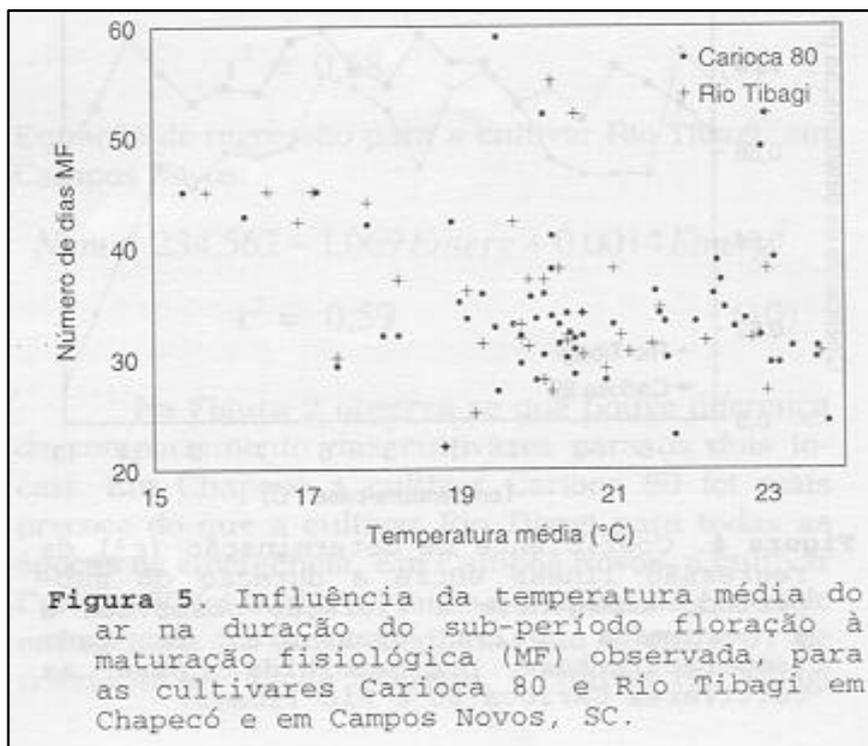
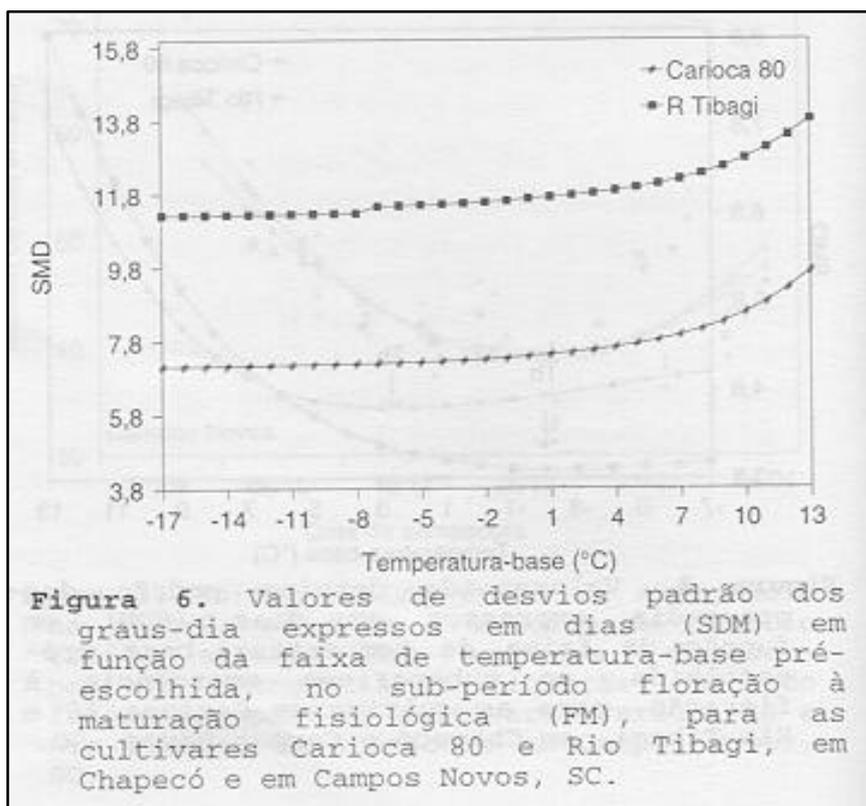


Figura 4. Coeficiente de determinação (r^2) da regressão linear entre a duração do sub-período emergência à floração observada e a estimada pelos graus-dia de cada temperatura-base pré-escolhida, para as cultivares Carioca 80 e Rio Tibagi.

A cultivar Carioca 80 apresentou valores de 10,2 e 15,5 e a cultivar Rio Tibagi de 9,0 e 14,1 para coeficiente de variação da soma dos graus-dia e dos dias do calendário, respectivamente. Estes dados demonstram que a utilização do modelo da soma dos graus-dia para a estimativa da duração do sub-período EF foi melhor que a utilização dos dias do calendário. Em experimentos de época de semeadura com o feijoeiro Navy na Inglaterra, SCARISBRIC et al. (1976) observaram que o método dos graus-dia é o mais seguro para a estimativa da data de floração do que os dias de calendário. Segundo os autores, a estimativa melhora se o período começar com a data de emergência do que com a data de semeadura.

A Figura 5 apresenta a influência da temperatura média do ar na duração do sub-período FM do feijoeiro, para a cultivar Carioca 80 e para a cultivar Rio Tibagi em Chapecó e em Campos Novos, SC. Observa-se que a temperatura do ar teve uma pequena influência na duração do sub-período FM de ambas as cultivares. O modelo de regressão linear múltipla "Stepwise" para a estimativa da duração do sub-período FM não selecionou nenhuma das variáveis estudadas (temperatura média do ar, deficiência hídrica e excesso hídrico do solo) como significativa nos modelos, a nível de 5%.





Na Figura 6 é possível verificar que dentro da faixa de temperatura-base pré escolhida (-17 a 13°C) não foi possível a determinação da temperatura-base pois ela provavelmente estaria dentro de uma faixa menor que -17°C. Portanto, o método de determinação da temperatura-base proposto por ARNOLD (1959) e modificado por MASSIGNAM & ANGELOCCI (1993) não foi adequado para o sub-período FM do feijoeiro. Por outro lado, o resultado obtido pelo modelo de regressão entre a duração do sub-período FM e a temperatura média do ar, deficiência e excesso hídrico não foram significativos, ao nível de 5%. Aliando estes dois fatos, a utilização dos graus-dia não é recomendada para a previsão do sub-período FM para ambas as cultivares do feijoeiro, indicando, assim, que outras variáveis não estudadas tiveram grande influencia na duração deste sub-período. Resultados semelhantes, com a cultura do girassol, foram obtidos por MASSIGNAM & ANGELOCCI (1993).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

1. A temperatura é a variável que mais explica a duração do sub-período emergência-floração.
2. A ocorrência de deficiência hídrica no sub-período emergência-floração faz com que este sub-período aumente sua duração.
3. O uso de graus-dia é mais preciso do que o calendário diário para a previsão do sub-período emergência-floração das cultivares do feijoeiro.
4. Temperatura média do ar, deficiência hídrica e excesso hídrico do solo não são significativos nos modelos de regressão linear múltipla para a estimativa da duração do sub-período floração-maturação fisiológica.
5. A utilização dos graus-dia não é recomendada para a previsão do sub-período floração-maturação fisiológica para as cultivares do feijoeiro Carioca 80 e Rio Tibagi.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA DÍAZ, E., SÁNCHEZ, T.N., SHIBATA, J.K. et al. Efecto de la sequia en el rendimiento y en la asignacion de matéria seca en frijoil (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agrociencia: série Fitotecnia**, Chapingo, v. 5, n. 1, p. 53-65, 1994.
- ANDERSON, W.K., SMITH, R.C.G., McWILLIAM, J.R. A system approach to the adaptation of sunflower to new environments. I. Phenology and development. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 1, p. 141-152, 1978.
- ANGELOCCI, L.R., VILLA NOVA, N.A. Temperatura do ar e do solo: aspectos físicos e agronômicos. In: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, Departamento de Física e Meteorologia. **Agrometeorologia**. Piracicaba : Departamento de Física e Meteorologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1985. 128 p. p. 1-27.
- ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat system. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 74, p. 430-445, 1959.
- BERGAMASCHI, H., VIEIRA, H.J., OMETTO, J.C. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. I análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 7, p. 733-743, 1988.

- BRUNINI, O. Zoneamento agroclimático, materiais e métodos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 10., Londrina, PR. **Resumos ...**, Londrina : IAPAR, 1980. 197 p. p. 162-187.
- FARIA, R.T. de, FOLEGATTI, M.V., OLIVEIRA, D. de Crescimento e desenvolvimento do feijoeiro sob diferentes regimes térmicos e hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10. 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba, SP : Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1997a. 758 p. p. 659-661.
- FARIA, R.T. de, OLIVEIRA, D. de, FOLEGATTI, M.V. Simulação da fenológica e produção do feijoeiro pelo modelo BEANGRO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10. 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba, SP : Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1997b. 758 p. p. 140-142.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 10. ed. Piracicaba, SP : Nobel S.A., 1982. 468 p.
- GOYNE, P.J., WOODRUFF, D.R., CHURCHETT, J.D. Prediction of flowering in sunflowers. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v. 17, p. 465-481, 1977.
- HOOGENBOOM, G., WHITE, J.W., JONES, J.W., et. al. BEANGRO: a process-oriented dry bean model with a versatile user interface. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 182-190, 1994.
- KRANZ, W.M., BIANCHINI, A., HOHMANN, C.L. et al. **Orientações técnicas sobre a semeadura de feijão de inverno no Paraná**. Londrina : IAPAR, 1991. 8 p. (IAPAR. Informe de pesquisa, 98)
- MASSIGNAM, A.M. **Determinação de temperatura-base, graus-dia e influência de variáveis bioclimáticas na duração de fases fenológicas de cultivares de girassol (*Helianthus annuus*)**. Piracicaba. ESALQ-USP. 1987. 87 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1987.
- MASSIGNAM, A.M., ANGELOCCI, L.R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia na estimativa da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, p. 71-79, 1993.
- MASSIGNAM, A.M., VIEIRA, H.J., HEMP, S. et al. Ecofisiologia do feijoeiro. I - Determinação do período mais crítico à deficiência hídrica do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p. 35-39, 1998a.

- MASSIGNAM, A.M., VIEIRA, H.J., HEMP, S. et al. Ecofisiologia do feijoeiro. IV - Rendimento de grãos sob diferentes épocas de semeadura no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 55-61, 1998b.
- MOTA, F.S. da, ACOSTA, M.J.C., ELLIS, J. et al. de Disponibilidade térmicas para a agricultura nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 29, n. 9, p. 1006-1020, 1977.
- ROBINS, J., DOMINGO, C.E. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 48, p. 67-70, 1956.
- SCARISBRICK, D.H., CARR, M.K.V., WILKES, J.M. The effect of sowing date and season on the development and yield of Navy beans (*Phaseolus vulgaris*) in south-east England. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v. 86, p. 65-76, 1976.
- SMUCKER, J.M., MOKMA, D.L., LINVILL, D.E. Environmental requirements and stresses. In: **Dry bean Production, Principles & practices**. East Lansing - MI : MSU, 1978. p 45-61.
- VIEIRA, C. Influência das épocas de plantio sobre as etapas de desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ceres**, Viçosa, v. 38, n. 219, p. 438-443, 1991
- VILLA NOVA, N.A., PEDRO JUNIOR, J.M., PEREIRA, A.R. et al. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura-base em função das temperaturas máximas e mínimas. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, v. 30, p. 1-8, 1972.
- WANG, J.Y. A critique of heat unit approach to plant response studies. **Ecology**, Brooklyn, v. 41, n. 4, p. 785-790, 1960.