

UM MODELO MATEMÁTICO DE PREVISÃO DA DATA DE OCORRÊNCIA DE ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DE TRÊS CULTIVARES DE SOJA¹

EMILSON FRANÇA DE QUEIROZ², LUIZ CARLOS BALDICERO MOLION³,
CELSON DE ALMEIDA GAUDÊNCIO e ANTÔNIO GARCIA⁴

RESUMO - Este estudo foi conduzido em Londrina, PR, com o objetivo de derivar um modelo matemático que estime as datas de ocorrência dos estádios reprodutivos e o comprimento dos subperíodos, com base na data emergência ou de plantio. Foram estudadas as cultivares de soja Paraná, Bossier e Santa Rosa, plantadas em quatro épocas - 10/10; 10/11; 10/12 e 10/01 - durante os anos agrícolas 1976/77 a 1983/84. Foi derivado um modelo matemático de previsão da data de ocorrência dos estádios fenológicos reprodutivos e de previsão do comprimento dos subperíodos do ciclo, com base na data de emergência ou de plantio. Os coeficientes angulares das equações de regressão entre data de plantio e data de ocorrência dos estádios reprodutivos, especialmente a data do primeiro estágio reprodutivo (R1) e a data de maturação (R8), fornecem uma medida consistente da sensibilidade das cultivares ao fotoperíodo. Todos os coeficientes de determinação foram altamente significativos, em todos os estádios. As equações referentes ao comprimento dos subperíodos também foram eficientes em expressar a sensibilidade das três cultivares de soja estudadas à variação fotoperiódica resultante do plantio em diversas épocas. Os coeficientes angulares das equações de regressão entre data de emergência e ciclo total das cultivares Paraná, Bossier e Santa Rosa foram de 0,384, 0,584 e 0,573, respectivamente.

Termos para indexação: agrometeorologia, fenologia, soja.

A MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING DATES OF OCCURRENCE OF PHENOLOGIC STAGES OF THREE SOYBEAN CULTIVARS

ABSTRACT - This study was carried out in Londrina, PR, Brazil, in order to develop a mathematical model for predicting dates of occurrence of the reproductive stages and the length of the subperiods based on date of emergency or of planting. Soybean cultivars Paraná, Bossier and Santa Rosa, planted in four planting dates - 10/10, 11/10, 12/10 and 01/10 - during the agricultural years of 1976/77 to 1983/84, were studied. A mathematical model was developed for predicting the date of occurrence of the phenological reproductive stages and the length of the subperiods of the cycle. The angular coefficients of the regression equations between date of planting and date of occurrence of the reproductive stage, specially the date of the first reproductive stage (R1), and the maturity date (R8), provided a consistent measure of the sensitivity of the cultivars to the photoperiod. All the coefficients of determination of these equations were highly significant, for all stages. The equations referring the length of the subperiods were also efficient in expressing the sensitivity of the three soybean cultivars studied to photoperiodic variation resulting from plantings at various dates. Angular coefficients for regression equations between date of emergence and total cycle, for cultivars Paraná, Bossier and Santa Rosa, were 0.384, 0.584 and 0.573, respectively.

Index terms: agrometeorology, phenology, soybeans.

INTRODUÇÃO

O planejamento das operações agrícolas depende da elaboração de um cronograma de atividades compatível com o desenvolvimento das culturas, tornando necessária a previsão dos estádios nos quais deverão ser realizadas as operações. Estas previsões são especialmente úteis nas condições em que ocorrem congestionamentos de operações,

¹ Aceito para publicação em 11 de abril de 1996.

Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à USP/ESALQ, Piracicaba, SP.

² Eng. Agr., Dr., EMBRAPA - Dep. de Pesquisa e Difusão de Tecnologia, Caixa Postal 04.0315, CEP 70770-901 Brasília, DF.

³ Físico, Meteorologista, Ph.D., INPE, Av. Dos Astronautas 1758, Caixa Postal 515, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP.

⁴ Eng. Agr., M.Sc., EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo), Caixa Postal 231, CEP 86001-970 Londrina, PR.

como é o caso da sucessão trigo-soja, na região norte do Estado do Paraná. Com efeito, nesta região a soja é sucedida pelo trigo e tem o seu período de colheita coincidindo, parcialmente, com o período de plantio do trigo.

Uma das soluções que podem ser adotadas para reduzir este congestionamento é a prática de ampliar os períodos de colheita da soja e de plantio do trigo. Esta solução exige o desenvolvimento de modelos de previsão das datas de maturação das diversas cultivares de soja, plantadas em determinadas áreas e épocas. Similarmente, diversas outras operações devem ser planejadas em função das datas de ocorrência dos estádios que determinam suas realizações.

Para que se obtenha o máximo aproveitamento das disponibilidades climáticas, é necessário que o plantio seja realizado em data que proporcione a coincidência dos períodos críticos da cultura da soja com os de máxima disponibilidade hídrica. Entretanto, dada a variabilidade interanual destas disponibilidades hídricas, também é conveniente ampliar os períodos críticos da lavoura, mediante o plantio de cultivares de diferentes ciclos em diferentes épocas. Os modelos de previsão de estádios fenológicos são de grande utilidade para a execução deste planejamento.

Hesketh et al. (1973) observaram que a duração dos diversos subperíodos do ciclo vegetativo depende da temperatura, e que estes subperíodos decrescem linearmente com o aumento da temperatura, na faixa situada entre 13°C e 30°C. Lawn & Byth (1973) afirmam que uma influência significativa e isolada de temperatura sobre o ciclo da soja se restringe às cultivares insensíveis ao fotoperíodo ou às condições nas quais há ausência de variação fotoperiódica. Brown & Chapman (1960) observaram que as temperaturas inferiores a 25°C tendem a retardar o florescimento, independentemente do fotoperíodo. Hartwig (1954) atribuiu às variações anuais de temperatura as diferenças de data de floração apresentadas por determinada cultivar, plantada numa mesma data e local, ao longo dos anos. Basnet et al. (1974), avaliando diversas cultivares nas altitudes de 1.394 m e 1.636 m, verificaram um retardamento do subperíodo de pré-florescimento na maior altitude, e atribuíram esta reação

às diferenças de disponibilidade térmica entre as duas localidades. Assim, o controle do ciclo de uma determinada cultivar é exercido, preponderantemente, pela temperatura, apenas quando a variação da disponibilidade térmica ocorre numa mesma condição fotoperiódica.

Brown & Chapman (1960) constataram que o número de dias necessário para a ocorrência do florescimento está diretamente relacionado com o fotoperíodo e a temperatura.

Pascale (1969) também demonstrou que as exigências térmicas e fotoperiódicas de uma cultivar são exigências bioclimáticas de magnitudes opostas. Desta forma, as cultivares que tem menor fotoperíodo crítico são as que exigem maior quantidade de somas térmicas para completar o ciclo.

Major et al. (1975) verificaram que as temperaturas mais baixas e os fotoperíodos mais longos, encontrados nas altas latitudes, exercem também, o efeito de retardar o florescimento.

Diversos pesquisadores constataram que o subperíodo reprodutivo varia com menor intensidade que o subperíodo vegetativo (Pascale, 1969; Lawn & Byth, 1973; Major et al., 1975).

A adaptação da espécie a determinada região depende principalmente das disponibilidades hídricas e térmicas, enquanto as cultivares de soja têm sua adaptação controlada preponderantemente pelo fotoperíodo.

Mooers (1908) relatou que com o atraso no plantio o ciclo da soja diminuiu e a maior redução ocorreu entre o plantio e a floração. Com um atraso de 60 dias do plantio, a cultivar tardia Mammouth Yellow e a precoce Ito Sam sofreram retardamento da data de maturação de 19 a 52 dias, respectivamente. Ou seja, a redução do ciclo da cultivar tardia foi maior do que a da cultivar precoce. Esta reação foi explicada doze anos mais tarde, por Garner & Allard (1920), quando descobriram que o fotoperíodo é o fator primordial no controle da floração e classificaram a soja entre as espécies que florescem quando os dias se tornam mais curtos.

Cartter & Hartwig (1967) apresentaram um exemplo clássico do efeito do fotoperíodo em soja, que é a diminuição do subperíodo emergência-floração e do seu ciclo total, à medida que uma

cultivar é levada para latitudes mais próximas do Equador. A cultivar Clark floresce em Winnipeg, Manitoba (41° 28' N), em torno de 10 de agosto, quando o comprimento do dia é de quinze horas. Entretanto, em Urbana, Illinois (80' mais próximo do Equador) a mesma cultivar floresce já em primeiro de julho, quando este comprimento do dia é atingido, resultando no encurtamento do seu ciclo.

Cartter, citado por Cartter & Hartwig (1967), mostrou outro exemplo de resposta da soja à variação do comprimento do dia com a latitude. A data de maturação da cultivar Lincoln, quando plantada em Madison, Wisconsin (42° 3' N), Urbana, Illinois (40° 08' N) e Stoneville, Mississippi (32° 25' N), ocorreu em 02 de outubro, 17 de setembro e 12 de agosto, respectivamente. Este exemplo ilustra o fato de que o comprimento do ciclo de uma cultivar de soja depende da latitude em que é plantada. Evidencia-se que os termos "precoce", "média" e "tardia", usados para descrever uma cultivar de soja, tem significado apenas quando estão relacionados a local e data específicos.

A influência do fotoperíodo sobre a soja também se faz sentir quando uma cultivar é plantada em várias épocas, numa mesma localidade. Buss et al. (1972), trabalhando no norte do Paraná, com cultivares de diferentes ciclos e três datas de plantio, encontraram diferentes reduções de ciclo, com o atraso no plantio, nas diversas cultivares. O atraso do plantio, desde fins de outubro até fins de dezembro, causou reduções de 51, 35 e 31 dias, nos ciclos das cultivares Hardee, Bragg e Davis, respectivamente. Uma cultivar precoce, Paraná, apresentou uma redução de apenas 16 dias para as mesmas datas de plantio.

Finardi (1979), trabalhando no Rio Grande do Sul com 16 cultivares dos Grupos de Maturação V, VI, VII, VIII e IX, observou que com o atraso no plantio houve redução dos subperíodos emergência-florescimento, duração do florescimento, florescimento-maturação e ciclo total de todas as cultivares. A duração do período vegetativo (emergência-florescimento) apresentou associação estatística negativa com a temperatura média, em todas as 16 cultivares, e associação positiva com o fotoperíodo médio, principalmente nas cultivares tardias. As cultivares mais precoces - Forrest,

Paraná e Pampeira - não revelaram correlação significativa entre o período vegetativo e fotoperíodo médio.

Finardi (1979) também obteve associação estatística significativa entre a duração do ciclo e o fotoperíodo médio. A associação entre a duração do ciclo e a temperatura média somente foi encontrada através da correlação parcial.

A duração do período vegetativo esteve associada significativamente ao fotoperíodo e à temperatura apenas na análise de correlação total, o que sugere provável influência interativa das duas variáveis sobre a duração deste subperíodo.

Silva (1984), no Rio Grande do Sul, estudando sete das dezesseis cultivares estudadas por Finardi (1979), observou que a duração dos subperíodos de pré-florescimento, pós-florescimento e ciclo total, reduziu-se com o atraso no plantio. Observou, também, que as cultivares tardias apresentavam maior redução do subperíodo de pré-florescimento e ciclo total do que as precoces. As precoces exibiram maior redução do subperíodo de pós-florescimento.

Uma cultivar tardia, em dada latitude, mostrará menor resposta que uma precoce a plantios tardios, no que se refere à data na qual a maturação ocorre (Weiss et al., 1950; Osler & Cartter, 1954), porque a duração de seu ciclo será mais drasticamente reduzida do que a de uma precoce. Esta diferença se deve principalmente à redução do período compreendido entre a emergência e a floração (ciclo vegetativo). A duração do período entre a floração e a maturação (ciclo reprodutivo) foi pouco influenciada pela época de plantio. O ciclo das cultivares tardias ainda é mais longo que o das médias e precoces, mesmo quando ele sofre redução com o atraso no plantio. No sul do Brasil, no fim da época de plantio, é comum a utilização de cultivares de ciclo longo, pois são as únicas que apresentam crescimento adequado para as condições de umidade e fertilidade existentes no solo neste período.

Quando o plantio é feito em grandes áreas, os agricultores ampliam a faixa de colheita com o uso de duas ou mais cultivares, de diferentes grupos de maturação. Isto ocorre porque o plantio de uma mesma cultivar em várias datas não modifica muito a data em que a floração e a maturação ocorrem.

O presente estudo teve como objetivo derivar um modelo matemático que permita realizar estimativas das datas de ocorrência dos principais estádios reprodutivos de cultivares de soja, a partir das respectivas datas de emergência ou de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento biológico que serviu de base para este estudo foi conduzido no campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja, localizado no município de Londrina, na região norte do Estado do Paraná.

No Paraná, conforme a classificação de Köppen, apresentada por Godoy et al. (1978), ocorrem os tipos climáticos Af, Cfb e Cfa. O clima da região norte do Paraná é do tipo Cfa, mas apresenta uma transição entre o tipo Cfb, do centro e sul do Estado, e o tipo Cwa, que ocorre no sul do Estado de São Paulo.

No local de execução dos experimentos, o solo é classificado como Latossolo Roxo distrófico, bem drenado, profundo, e apresenta um relevo ondulado.

As principais variáveis de estudo foram cultivares e épocas de plantio, para atender ao objetivo de estudar as interações de genótipos e ambientes.

Foram estudadas as cultivares Paraná, Bossier e Santa Rosa, consideradas representativas dos Grupos de Maturação V, VII e VIII, da Classificação Americana de Cultivares de Soja, respectivamente. Estas mesmas cultivares representaram os grupos de cultivares precoce, médio e tardio, segundo a terminologia corrente no Estado do Paraná.

O experimento foi instalado em épocas distribuídas desde o início do mês de outubro até o início do mês de janeiro. As datas de plantio planejadas foram: 10/10; 10/11; 10/12 e 10/01. Admitiu-se a antecipação do plantio de dois a três dias, em relação a estas datas, todas as vezes que ocorreram condições ótimas de umidade do solo para o plantio. Nos casos em que houve condições de insuficiência hídrica para a emergência, efetuou-se a irrigação, para garantir o estabelecimento das populações de plantas por unidade de área desejadas.

A outra fonte de variação ambiental foi a instalação do experimento ao longo dos anos agrícolas 1976/77 a 1983/1984.

Procedeu-se à correção do solo, adubação, inoculação de bactérias da espécie *Bradyrhizobium japonicum* nas sementes, controle de invasoras e de pragas, conforme as recomendações vigentes. Procurou-se manter o máximo controle possível sobre as variáveis que não foram objeto de estudo.

Determinaram-se as datas de emergência (VE) e as datas de ocorrência de todos os estádios reprodutivos (R1 e R8), segundo o critério proposto por Fehr et al. (1971).

Utilizou-se o módulo Regmult, do pacote estatístico proposto por Zonta et al. (1986), para calcular as equações de regressão linear, quadrática e cúbica que relacionam as datas de plantio e de emergência com as datas de ocorrência dos diversos estádios reprodutivos (R1 e R8). Este módulo, além de determinar os parâmetros das equações, exibe o valor calculado do Teste F e o respectivo nível de probabilidade.

Elaborou-se um programa de computador que efetuou a transformação das datas do calendário romano em calendário absoluto, seqüencialmente, e considerando, em cada ano, o dia 21 de setembro como o primeiro dia. Assim, foram transformadas as datas de plantio, de emergência, e as datas de todos os estádios fenológicos reprodutivos, em números reais. Com estes dados transformados, estabeleceram-se todas as equações de regressão das datas de plantio e emergência com as datas de ocorrência dos estádios fenológicos reprodutivos, principais subperíodos do ciclo e ciclo total.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações de regressão que expressam a relação entre as datas de emergência com as datas de ocorrência dos diversos estádios e também com os comprimentos de alguns subperíodos do ciclo, das três cultivares estudadas, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Nestas tabelas estão inseridos os valores dos coeficientes de determinação (R²) e do teste F, seguido do grau de significância - (*) ou (**) - para cada equação de regressão.

Os valores de F nas equações de regressão entre a data de emergência e data de ocorrência dos estádios fenológicos (Tabela 1), e comprimento de subperíodos e do ciclo (Tabela 2), sempre foram significativos a 1% de probabilidade. Os valores dos coeficientes de determinação foram altos, na maioria dos casos. Resultados similares foram obtidos quando o modelo foi derivado com base nas datas de plantio (Tabela 3).

Os valores dos coeficientes angulares variaram de 0,951 a 0,616, de 0,921 a 0,452 e de 0,864 a 0,247, em relação às cultivares Paraná, Bossier e Santa Rosa, respectivamente (Tabela 1).

TABELA 1. Equações de regressão entre datas de emergência e datas de ocorrência dos estádios reprodutivos de três cultivares de soja, plantadas em quatro épocas e oito anos. Londrina, PR, 1976/77 a 1983/84.

| Período ¹ | Equação de regressão | R ² | Valor de F |
|----------------------|----------------------|----------------|-------------|
| Paraná | | | |
| VE - R1 | y = 42,623 + 0,951x | 0,976 | 1.244,377** |
| VE - R2 | y = 44,116 + 0,957x | 0,979 | 1.383,790** |
| VE - R3 | y = 62,136 + 0,866x | 0,973 | 1.101,704** |
| VE - R4 | y = 67,573 + 0,856x | 0,975 | 1.164,290** |
| VE - R5 | y = 74,768 + 0,814x | 0,971 | 1.004,559** |
| VE - R6 | y = 103,581 + 0,708x | 0,969 | 938,512** |
| VE - R7 | y = 117,098 + 0,660x | 0,957 | 668,465** |
| VE - R8 | y = 132,172 + 0,616x | 0,956 | 646,480** |
| Bossier | | | |
| VE - R1 | y = 49,708 + 0,921x | 0,979 | 1.391,972** |
| VE - R2 | y = 51,903 + 0,919x | 0,978 | 1.327,190** |
| VE - R3 | y = 73,748 + 0,803x | 0,960 | 726,464** |
| VE - R4 | y = 80,614 + 0,772x | 0,960 | 727,242** |
| VE - R5 | y = 86,972 + 0,752x | 0,959 | 697,178** |
| VE - R6 | y = 49,708 + 0,921x | 0,924 | 362,277** |
| VE - R7 | y = 51,903 + 0,919x | 0,873 | 206,674** |
| VE - R8 | y = 162,623 + 0,452x | 0,865 | 192,146** |
| Santa Rosa | | | |
| VE - R1 | y = 60,747 + 0,864x | 0,925 | 371,251** |
| VE - R2 | y = 63,174 + 0,860x | 0,923 | 361,754** |
| VE - R3 | y = 112,008 + 0,487x | 0,883 | 226,180** |
| VE - R4 | y = 117,937 + 0,465x | 0,899 | 266,920** |
| VE - R5 | y = 123,343 + 0,453x | 0,884 | 228,972** |
| VE - R6 | y = 153,402 + 0,360x | 0,732 | 81,894** |
| VE - R7 | y = 171,911 + 0,305x | 0,665 | 59,626** |
| VE - R8 | y = 188,929 + 0,247x | 0,615 | 48,021** |

¹ VE = data de emergência; R1 a R8 = data de ocorrência dos estádios reprodutivos R1 a R8 conforme descrito por Fehr et al. (1971).

As Tabelas 4 a 6 apresentam os desvios maiores do que sete dias entre os valores observados e os valores calculados pelos modelos que relacionam datas de emergência com datas de ocorrência dos estádios reprodutivos.

Para cada modelo observa-se que ocorreram, no máximo, três desvios superiores ao intervalo de confiança, no caso da cultivar Paraná, nos 32 ambientes estudados. Nos anos agrícolas 1976/77, 1977/78 e 1983/84, ocorreu um caso de desvio em cada ano e, em 1980/81, ocorreram três casos. No ano agrícola de 1978/79, ocorreram nove casos de desvio deste tipo. No total, houve apenas 14 casos de desvios superiores a sete dias, em 256 casos estimados e correspondentes às 8 equações vezes os

TABELA 2. Equações de regressão entre datas de emergência e comprimento de subperíodos e do ciclo de três cultivares de soja, plantadas em quatro épocas e oito anos. Londrina, PR, 1976/77 a 1983/84.

| Período ¹ | Equação de regressão | R ² | Valor de F |
|----------------------|----------------------|----------------|------------|
| Paraná | | | |
| VE - R1 | y = 42,623 - 0,049x | 0,099 | 3,286NS |
| VE - R7 | y = 117,098 - 0,334x | 0,849 | 168,770** |
| VE - R8 | y = 133,172 - 0,384x | 0,893 | 251,118** |
| R1 - R4 | y = 24,905 - 0,106x | 0,697 | 69,084** |
| R1 - R7 | y = 74,475 - 0,286x | 0,800 | 119,695** |
| R1 - R8 | y = 90,549 - 0,335x | 0,826 | 142,321** |
| R4 - R6 | y = 36,008 - 0,138x | 0,714 | 74,998** |
| R6 - R7 | y = 13,517 - 0,042x | 0,268 | 10,981** |
| R6 - R8 | y = 29,591 - 0,092x | 0,483 | 28,032** |
| R7 - R8 | y = 16,074 - 0,050x | 0,311 | 13,511** |
| Bossier | | | |
| VE - R1 | y = 49,708 - 0,079x | 0,254 | 10,238** |
| VE - R7 | y = 145,451 - 0,492x | 0,866 | 193,120** |
| VE - R8 | y = 163,623 - 0,548x | 0,904 | 281,921** |
| R1 - R4 | y = 30,907 - 0,149x | 0,588 | 42,745** |
| R1 - R7 | y = 95,743 - 0,413x | 0,816 | 132,800** |
| R1 - R8 | y = 113,916 - 0,496x | 0,839 | 155,834** |
| R4 - R6 | y = 43,462 - 0,166x | 0,628 | 50,750** |
| R6 - R7 | y = 21,375 - 0,097x | 0,340 | 15,468** |
| R6 - R8 | y = 39,547 - 0,154x | 0,451 | 24,460** |
| R7 - R8 | y = 18,172 - 0,056x | 0,233 | 9,115** |
| Santa Rosa | | | |
| VE - R1 | y = 60,747 - 0,136x | 0,233 | 9,131** |
| VE - R7 | y = 171,911 - 0,695x | 0,912 | 309,742** |
| VE - R8 | y = 189,929 - 0,753x | 0,937 | 446,800** |
| R1 - R4 | y = 56,519 - 0,392x | 0,773 | 102,032** |
| R1 - R7 | y = 111,164 - 0,559x | 0,815 | 132,084** |
| R1 - R8 | y = 129,136 - 0,112x | 0,854 | 175,489** |
| R4 - R6 | y = 36,136 - 0,112x | 0,378 | 18,208** |
| R6 - R7 | y = 18,510 - 0,055x | 0,171 | 6,175* |
| R6 - R8 | y = 36,528 - 0,113x | 0,339 | 15,387** |
| R7 - R8 | y = 18,018 - 0,58x | 0,256 | 10,356** |

¹ VE = data de emergência; R1 a R8 = data de ocorrência dos estádios reprodutivos R1 a R8 conforme descrito por Fehr et al. (1971).

32 ambientes. Na cultivar Paraná, os maiores desvios foram de 12 e 14 dias, e ocorreram na época de 10/12 do ano agrícola 1978/79.

Os modelos referentes à cultivar Bossier apresentaram um comportamento similar ao dos modelos da cultivar Paraná, ocorrendo 21 casos de desvio.

Os modelos referentes à cultivar Santa Rosa foram os que apresentaram maior número de desvios superiores a sete dias, ou seja, 24. Destes 24 des-

TABELA 3. Equações de regressão entre datas de plantio e datas de ocorrência dos estádios reprodutivos de três cultivares de soja, plantadas em quatro épocas e oito anos. Londrina, PR, 1976/77 a 1983/84.

| Estádios ¹ | Equação de regressão | R ² | Valor de F |
|-----------------------|----------------------|----------------|--------------|
| Paraná | | | |
| P - VE | y = 7,502 + 0,978x | 0,999 | 21.480,524** |
| P - R1 | y = 49,701 + 0,931x | 0,978 | 1.272,330** |
| P - R2 | y = 51,241 + 0,936x | 0,979 | 1.404,245** |
| P - R3 | y = 68,573 + 0,847x | 0,974 | 1.131,050** |
| P - R4 | y = 73,874 + 0,828x | 0,975 | 1.173,739** |
| P - R5 | y = 80,859 + 0,797x | 0,970 | 981,243** |
| P - R6 | y = 108,884 + 0,692x | 0,968 | 904,911** |
| P - R7 | y = 122,069 + 0,651x | 0,957 | 663,543** |
| P - R8 | y = 136,731 + 0,604x | 0,957 | 675,057** |
| Bossier | | | |
| P - VE | y = 7,502 + 0,978x | 0,999 | 21.480,524** |
| P - R1 | y = 56,565 + 0,902x | 0,979 | 1.419,398** |
| P - R2 | y = 58,739 + 0,900x | 0,979 | 1.369,885** |
| P - R3 | y = 79,781 + 0,785x | 0,959 | 694,078** |
| P - R4 | y = 86,415 + 0,755x | 0,969 | 696,588** |
| P - R5 | y = 96,627 + 0,736x | 0,957 | 667,048** |
| P - R6 | y = 128,546 + 0,498x | 0,926 | 347,937** |
| P - R7 | y = 149,215 + 0,498x | 0,875 | 209,591** |
| P - R8 | y = 166,019 + 0,442x | 0,864 | 189,853** |
| Santa Rosa | | | |
| P - VE | y = 7,502 + 0,978x | 0,999 | 21.480,500** |
| P - R1 | y = 67,063 + 0,848x | 0,930 | 396,484** |
| P - R2 | y = 69,455 + 0,844x | 0,928 | 386,771** |
| P - R3 | y = 115,677 + 0,476x | 0,881 | 221,750** |
| P - R4 | y = 121,422 + 0,455x | 0,898 | 263,970** |
| P - R5 | y = 126,739 + 0,443x | 0,883 | 226,670** |
| P - R6 | y = 156,074 + 0,352x | 0,733 | 82,189** |
| P - R7 | y = 174,236 + 0,298x | 0,662 | 58,697** |
| P - R8 | y = 190,767 + 0,242x | 0,616 | 48,084** |

¹ P = data de plantio; R1 a R8 = data de ocorrência dos estádios reprodutivos R1 a R8 conforme descrito por Fehr et al. (1971). VE = data de emergência.

vios, 14 se referem aos modelos de previsão das datas de ocorrência dos estádios R1 e R8.

Foram escolhidos alguns subperíodos e suas combinações para serem comentados, em virtude de sua utilidade para os objetivos deste trabalho, e foram desprezados os demais.

O subperíodo VE - R1, corresponde à maior parte da fase vegetativa da cultivar Paraná, cujo hábito de crescimento é determinado. Este subperíodo apresenta uma pequena redução de seu comprimento, um baixo valor para o coeficiente de determinação e o teste F não apresenta significância (Tabela 2).

TABELA 4. Relação dos desvios maiores do que sete dias, das equações de regressão entre data de emergência e data de ocorrência de estádios reprodutivos da cultivar Paraná, plantada em quatro épocas e oito anos¹.

| Estádios | Ambientes | | Variáveis e estatísticas | | | |
|----------|-----------|-------|--------------------------|-----|-------|-------|
| | Época | Ano | X | Y | Ŷ | Y - Ŷ |
| VE/R1 | 10/10 | 80/81 | 27 | 59 | 68,3 | -9,3 |
| | 10/10 | 78/79 | 28 | 60 | 69,3 | -9,3 |
| | 10/12 | 78/79 | 88 | 139 | 126,3 | +12,7 |
| VE/R3 | 10/10 | 80/81 | 27 | 77 | 85,5 | -8,5 |
| | 10/12 | 78/79 | 88 | 151 | 138,3 | +13,0 |
| VE/R4 | 10/10 | 78/79 | 28 | 83 | 91,2 | -8,2 |
| | 10/12 | 78/79 | 88 | 155 | 142,0 | +13,0 |
| VE/R5 | 10/11 | 76/77 | 52 | 126 | 117,1 | +8,9 |
| | 10/12 | 78/79 | 88 | 160 | 146,4 | +13,6 |
| VE/R6 | 10/10 | 77/78 | 24 | 113 | 120,6 | -7,6 |
| | 10/12 | 78/79 | 88 | 178 | 165,9 | +12,1 |
| VE/R7 | 10/12 | 78/79 | 88 | 190 | 175,7 | +14,3 |
| VE/R8 | 10/12 | 83/84 | 84 | 176 | 183,9 | -7,9 |
| | 10/12 | 78/79 | 88 | 200 | 186,4 | +13,6 |

¹ X = valor da data de plantio, em calendário absoluto; Y = valor da data de ocorrência do estádio fenológico, em calendário absoluto; Ŷ = valor da data estimada de ocorrência do estádio fenológico, em calendário absoluto; R1 a R8 = data de ocorrência dos estádios reprodutivos R1 a R8, conforme descrito por Fehr et al. (1971); VE = data de emergência.

A fase reprodutiva, R1 - R8, apresenta maior redução ao longo das épocas do que a fase vegetativa, VE - R1, pois as duas apresentam os coeficientes angulares de 0,049 e 0,335, respectivamente (Tabela 2).

Os subperíodos VE - R1, R1 - R4 e R4 - R8, apresentam 4,9, 10,6 e 23,0 dias de redução para 100 dias de atraso no plantio. O ciclo total e o período reprodutivo se reduzem em 38,4 e 33,5 dias para 100 dias de atraso no plantio, respectivamente.

Na Tabela 2 observam-se, na cultivar Bossier, valores do coeficiente angular e dos coeficientes de determinação similares aos apresentados pela cultivar Paraná.

A fase vegetativa VE - R1 apresenta menor redução no plantio do que a fase reprodutiva R1 - R8. Com efeito, as referidas fases apresentam coefici-

TABELA 5. Relação dos desvios maiores do que sete dias, das equações de regressão entre data de emergência e data de ocorrência de estádios reprodutivos da cultivar Bossier, plantada em quatro épocas e oito anos¹.

| Estádios | Ambientes | | Variáveis e estatísticas | | | |
|----------|-----------|-------|--------------------------|-----|-----------|---------------|
| | Época | Ano | X | Y | \hat{Y} | $Y - \hat{Y}$ |
| VE/R1 | 10/10 | 80/81 | 27 | 63 | 78,6 | -12,6 |
| | 10/12 | 78/79 | 88 | 142 | 130,8 | +11,6 |
| VE/R3 | 10/10 | 77/78 | 24 | 81 | 93,0 | -12,0 |
| | 10/10 | 82/83 | 31 | 86 | 98,6 | -12,6 |
| | 10/11 | 81/82 | 53 | 127 | 116,3 | +10,7 |
| VE/R4 | 10/10 | 77/78 | 24 | 88 | 99,1 | -11,1 |
| | 10/10 | 82/83 | 31 | 92 | 104,6 | -12,6 |
| | 10/11 | 81/82 | 53 | 131 | 121,5 | +9,5 |
| | 10/12 | 78/79 | 88 | 160 | 148,6 | +11,4 |
| VE/R5 | 10/10 | 77/78 | 24 | 94 | 105,0 | -11,0 |
| | 10/10 | 82/83 | 31 | 98 | 110,3 | -12,3 |
| | 10/11 | 78/79 | 55 | 136 | 128,3 | +7,7 |
| VE/R6 | 10/10 | 77/78 | 24 | 122 | 138,6 | -16,6 |
| | 10/11 | 81/82 | 53 | 168 | 156,2 | +11,8 |
| | 10/12 | 82/83 | 83 | 182 | 174,4 | +7,6 |
| VE/R7 | 10/10 | 77/78 | 24 | 138 | 157,7 | -19,7 |
| | 10/10 | 82/83 | 31 | 150 | 161,2 | -11,2 |
| | 10/01 | 83/84 | 122 | 220 | 207,5 | +12,5 |
| VE/R8 | 10/10 | 77/78 | 24 | 153 | 173,5 | -20,5 |
| | 10/12 | 76/77 | 117 | 206 | 215,6 | -9,5 |
| | 10/01 | 83/84 | 122 | 231 | 217,8 | +13,2 |

¹ X = valor da data de plantio, em calendário absoluto; Y = valor da data de ocorrência do estádio fenológico, em calendário absoluto; \hat{Y} = valor da data estimada de ocorrência do estádio fenológico, em calendário absoluto; R1 a R8 = data de ocorrência dos estádios reprodutivos R1 a R8, conforme descrito por Fehr et al. (1971); VE = data de emergência.

entes de correlação de 0,079 e 0,469, respectivamente (Tabela 2).

Os subperíodos R1 - R4 e R4 - R8 apresentam redução de 14,9 e 32,0 dias para cada 100 dias de atraso no plantio, o que corresponde a uma redução de, aproximadamente, 50% e 38%, de seu comprimento, respectivamente.

A cultivar Santa Rosa também apresenta maior redução da fase reprodutiva, à medida que o plantio é atrasado. Na fase vegetativa, o valor do coeficiente angular é de 0,136, e o da fase reprodutiva é de 0,618 (Tabela 2).

TABELA 6. Relação dos desvios maiores do que sete dias, das equações de regressão entre data de emergência e data de ocorrência de estádios reprodutivos da cultivar Santa Rosa, plantada em quatro épocas e oito anos¹.

| Estádios | Ambientes | | Variáveis e estatísticas | | | |
|----------|-----------|-------|--------------------------|-----|-----------|---------------|
| | Época | Ano | X | Y | \hat{Y} | $Y - \hat{Y}$ |
| VE/R1 | 10/10 | 77/78 | 24 | 68 | 81,5 | -13,5 |
| | 10/10 | 80/81 | 27 | 65 | 84,1 | -19,1 |
| | 10/10 | 78/79 | 28 | 72 | 84,9 | -12,9 |
| | 10/10 | 82/83 | 31 | 73 | 87,5 | -14,5 |
| | 10/11 | 76/77 | 52 | 118 | 105,7 | +12,3 |
| | 10/11 | 81/82 | 53 | 120 | 106,6 | +13,4 |
| VE/R3 | 10/11 | 83/84 | 55 | 119 | 108,3 | +10,7 |
| | 10/01 | 77/78 | 115 | 152 | 160,2 | -8,2 |
| | 10/01 | 76/77 | 117 | 152 | 161,9 | -9,9 |
| VE/R4 | 10/10 | 77/78 | 24 | 97 | 123,7 | -26,7 |
| VE/R5 | 10/10 | 77/78 | 24 | 106 | 129,1 | -23,1 |
| VE/R6 | 10/10 | 77/78 | 24 | 109 | 134,2 | -25,2 |
| VE/R7 | 10/10 | 77/78 | 24 | 132 | 162,0 | -30,0 |
| | 10/10 | 82/83 | 31 | 175 | 164,2 | +10,8 |
| | 10/11 | 81/82 | 53 | 189 | 172,5 | +16,5 |
| VE/R8 | 10/10 | 77/78 | 24 | 148 | 179,2 | -31,2 |
| | 10/12 | 80/81 | 85 | 190 | 197,8 | -7,8 |
| | 10/01 | 80/81 | 114 | 196 | 206,7 | -10,7 |
| VE/R8 | 10/10 | 77/78 | 24 | 172 | 194,9 | -22,9 |
| | 10/12 | 80/81 | 85 | 199 | 209,9 | -10,9 |
| | 10/01 | 79/80 | 114 | 226 | 217,1 | +8,9 |
| | 10/01 | 80/81 | 114 | 208 | 217,1 | -9,1 |
| | 10/01 | 83/84 | 122 | 229 | 219,1 | +9,9 |

¹ X = valor da data de plantio, em calendário absoluto; Y = valor da data de ocorrência do estádio fenológico, em calendário absoluto; \hat{Y} = valor da data estimada de ocorrência do estádio fenológico, em calendário absoluto; R1 a R8 = data de ocorrência dos estádios reprodutivos R1 a R8, conforme descrito por Fehr et al. (1971); VE = data de emergência.

Os altos valores dos coeficientes de determinação a 1% de probabilidade, no tocante às regressões entre datas de emergência e datas de ocorrência dos diversos estádios fenológicos, evidenciaram a consistência destes resultados e indicam que podem ser usados para a previsão do ciclo das três cultivares estudadas. Ademais, observou-se que houve desvios pouco frequentes quando se adotou o critério de considerar apenas os desvios maiores do que uma semana, em função de sua significância prática.

Estes desvios são atribuídos principalmente a variações da disponibilidade térmica entre anos, o que já foi citado por Hartwig (1954), Pendleton & Hartwig (1973) e Queiroz (1975). Essa ocorrência foi observada mais freqüentemente nos anos agrícolas 1977/78 e 1978/79, os quais apresentaram anomalias nas condições hidro-térmicas. Segundo Casarin (1982), esta anomalia é resultante de bloqueios ocorridos na circulação de grande escala do Hemisfério Sul. Outro tipo de anomalia de caráter hidro-térmico foi observada nos anos agrícolas 1982/83 e 1983/84, e resultou em atrasos nas datas de ocorrência de diversos estádios fenológicos, e foi atribuída a eventos de El Niño, descritos por Kousky & Cavalcanti (1984) e Kayano & Moura (1986).

As faixas de variação dos coeficientes angulares, de 0,957 a 0,616, de 0,921 a 0,452 e de 0,864 a 0,247, para as cultivares Paraná, Bossier e Santa Rosa, respectivamente, são expressões de respostas diferenciadas das três cultivares, em função dos grupos de maturação a que pertencem. Com efeito, a cultivar Paraná sofreu a maior variação nas datas de ocorrência de seus estádios fenológicos, especialmente a maturação, em virtude de sua precocidade. Esta cultivar, conforme princípios enunciados por Hinson & Hanson (1962) e aplicados à região por Queiroz et al. (1971), tem o seu ciclo menos influenciado pelas variações das disponibilidades fotoperiódicas às quais foi exposta pelo plantio, em diversas épocas, do que as cultivares Bossier e Santa Rosa. A cultivar Santa Rosa apresentou maior sensibilidade fotoperiódica, pois é uma cultivar do Grupo de Maturação VIII, e portanto, mais tardia do que 'Paraná' e 'Bossier'. Pela mesma razão, a resposta da cultivar Bossier é intermediária entre as respostas das duas outras.

Esta resposta também pode ser apreciada observando-se, por exemplo, a Tabela 1, na qual os coeficientes angulares apresentam valores decrescentes de 0,616, 0,452 e 0,247, nas cultivares precoce, média e tardia, respectivamente, em consonância com os resultados de Pascale & Escales (1971), Queiroz et al. (1971), Pascale & Escales (1975) e Camargo (1984). Assim, evidencia-se que os coeficientes angulares das equações de regressão entre data de emergência e datas de ocorrência de al-

guns estádios fenológicos, especialmente os estádios R1 e R8 - data de início de floração e de maturação - são uma expressão matemática da sensibilidade fotoperiódica das cultivares de soja.

As equações de regressão entre as datas de emergência e o comprimento dos subperíodos das cultivares estudadas são outra forma de expressar a resposta da soja à época do plantio, em termos de ciclo. Os mesmos princípios antes citados são levantados para explicar por que 'Paraná' foi a cultivar que experimentou a menor variação no comprimento de diversos subperíodos de seu ciclo, quando foi plantada em diversas épocas. Pode-se exemplificar que, para o ciclo total, as cultivares Paraná, Bossier e Santa Rosa apresentaram coeficientes angulares no tocante à regressão entre data de emergência e comprimento do subperíodo VE - R8 de 0,384, 0,548 e 0,573, respectivamente. Isto significa que quando o plantio é atrasado, quanto mais tardias são as cultivares, maior é a redução de seu ciclo e menor a variação da data na qual os diversos estádios ocorrem, o que está de acordo com resultados de Buss et al. (1972), Camargo (1984), Queiroz et al. (1971), Pascale & Escales (1971), Finardi (1979), Silva (1984) e Hinson & Hanson (1962).

Em alguns subperíodos, o valor do coeficiente de determinação é muito baixo, porém apresenta significância a 1% de probabilidade. Isto significa que para o nível de precisão com que foram realizadas as observações fenológicas - intervalo máximo de dois dias entre observações - não se conseguiu detectar variação do comprimento do subperíodo.

A redução do ciclo total e dos diversos subperíodos é atribuída, conforme os conceitos clássicos de Borthwick & Parker (1938), às variações das disponibilidades térmicas e fotoperiódicas, em consequência do plantio em várias épocas.

Os comprimentos dos subperíodos, em sua maioria, reduziram-se à medida que o plantio foi atrasado. Esta resposta está de acordo com os trabalhos clássicos de Borthwick & Parker (1938) e de diversos outros autores no exterior e no Brasil.

Os modelos derivados neste trabalho foram eficientes em exibir respostas diferenciais das três cultivares estudadas, quando plantadas nas diversas épocas. Assim, no que se refere ao subperíodo

emergência-floração, a cultivar precoce Paraná apresentou redução estatisticamente não-significativa, o que está de acordo com Buss et al. (1972), e tem relevante significado prático. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que as cultivares precoces apresentam menor sensibilidade fotoperiódica do que as cultivares tardias. Desse modo, os coeficientes angulares dos modelos referentes a estas cultivares podem ser vistos como uma expressão desta sensibilidade.

CONCLUSÕES

1. Em termos médios, as equações de regressão linear, derivadas neste trabalho, permitem estimar a data de ocorrência dos diversos estádios reprodutivos, o comprimento dos subperíodos do ciclo e o ciclo total das cultivares de soja, Paraná, Bossier e Santa Rosa, com base na data de emergência.

2. Alternativa e analogamente, as estimativas das datas de ocorrência dos diversos estádios reprodutivos, o comprimento dos subperíodos do ciclo e o ciclo total podem ser feitas por meio de equações de regressão linear, com base na data de plantio.

AGRADECIMENTOS

Ao Mestre Rural, Paulo Volpato, do Centro Nacional de Pesquisa de Soja, pela assiduidade, precisão e pontualidade com que realizou as observações fenológicas utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 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.
- BORTHWICK, H.A.; PARKER, M.W. Photoperiodic perception in Biloxi Soybeans. *Botanical Gazette*, v.100, p.374-387, Dec. 1938.
- 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, Sept. 1960.
- BUSS, A.; QUEIROZ, E.F.; TERASAWA, F.; KASTER, M.; MENOSSO, O.G. *Soja 72*. Curitiba: IPEAME, 1972. 24p. (Circular, 14).
- CAMARGO, M.B.P. **Exigências bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo**. Piracicaba: USP, 1984. 96p. Tese de Mestrado.
- CARTTER, J.L.; HARTWIG, E.E. The management of soybeans. In: NORMAN, A.G. (Ed.). **The soybeans**. New York: Academic Press, 1967. p.162-221.
- CASARIN, D.P. **Um estudo observacional sobre sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul**. São José dos Campos: INPE, 1982.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, H.E.; HARWOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*, Madison, v.11, n.6, p.929-931, Nov./Dec. 1971.
- FINARDI, C.E. **Comportamento fenológico de dezesseis cultivares de soja, *Glycine max* (L.) Merrill, de diferentes grupos de maturação, em sete épocas de semeadura, na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1979. 80p. Tese de Mestrado.
- 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.
- GODOY, M.; CORRÊA, A.R.; BERNARDES, L.R.M. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1978. 38p.
- HARTWIG, E.T. **Factors affecting time of planting soybeans in the Southern States**. Washington, DC: United State Department of Agriculture, 1954. 13p. (Circular, 943).
- 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.13, p.250-254, 1973.
- HINSON, K.; HANSON, W.D. Competition studies in soybeans. *Crop Science*, Madison, v.2, n.2, p.117-123, 1962.
- KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.4, p.201-204, 1986.

- KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I.F. A. Oscilação do Sul - El Niño: Características, evolução e anomalias da precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, p.1888-1899, 1984.
- LAWN, J.R.; BYTH, D.E. Response of soybeans to planting date in southeastern Queensland. I. Influence of photoperiod and temperature on phasic development patterns. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.24, n.1, p.67-80, Jan. 1973.
- 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, n.2, p.174-179, 1975.
- MOOERS, C.A. The soybean: a comparison with the cowpea. **Tennessee Agricultural Experimental Station Bulletin**, n.82, p.75-104, 1908.
- OSLER, R.D.; CARTTER, J.L. Effect of planting date on chemical composition and growth characteristics of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.46, n.6, p.267-270, June 1954.
- PASCALE, A.J. Tipos agroclimáticos para el cultivo de la soya en la Argentina. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires**, Buenos Aires, v.17, n.3, p.31-38, 1969.
- PASCALE, A.J.; ESCALES, A. Requerimientos blioclimáticos de los grupos de cultivares de soya. I: Subperiodo siembra-floración. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires**, v.11, n.1/2, p.15-24, 1971.
- PASCALE, A.J.; ESCALES, A. Requerimientos blioclimáticos de los grupos de cultivares de soya. II. Subperiodo floración - maduración. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires**, v.31, p. 58-63, 1975. Supl.
- PENDLETON, J.W.; HARTWIG, E.F. Management. In: CALDWELL, B.E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p.211-237.
- QUEIROZ, E.F. Efeito de época de plantio e população sobre o rendimento e outras características agrônômicas de quatro cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Porto Alegre: UFRGS, 1975. 108p. Tese de Mestrado.
- QUEIROZ, E.F.; KASTER, M.; TERASAWA, F. Soja no Paraná. Curitiba: IPEAME, 1971. 24p. (Circular, 9).
- SILVA, G.A. Métodos de unidades térmicas para estimativas do comportamento fenológico de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Porto Alegre: UFRGS, 1984. 131p. Tese de Mestrado.
- WEISS, M.G.; WEBER, C.R.; WILLIAMS, L.F.; PROBST, A.H. Variability of agronomic and seed compositional characters in soybeans as influenced by variety and time of planting. [S.l.]: USDA, 1950. 39p. (Technical Bulletin, 1017).
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Sistema de análise estatística para microcomputadores. Pelotas:[s.n.], 1986. 92p.