

ISSN 0104-1347

Ajuste de modelos para descrever a fitomassa seca da parte aérea na cultura de milho em função de graus-dia

Fitting models to describe corn above-ground dry matter as a function of degree-day

Sidinei José Lopes¹, Durval Dourado Neto², Paulo Augusto Manfron¹, Sandro Luis Petter Medeiros¹, Betânia Brum³ e Mara Rubia Machado Couto⁴

Resumo - Com objetivo de propor modelos para caracterizar a variação temporal da fitomassa seca relativa de folhas e da parte aérea da cultura de milho, bem como determinar a época de máxima taxa de acúmulo de fitomassa seca em função de graus-dia, foi conduzido um experimento no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, SP. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três híbridos: Cargil 901 (superprecoce), Cargil 333B (normal) e Cargil 806 (superprecoce), em três repetições. Utilizou-se o modelo empírico do co-seno proposto por DOURADO NETO (1999), acrescentando-se parâmetros ao modelo para simular três tipos de curvas de crescimento não-lineares, representando curvas sigmóides. Todos os modelos estimaram a fitomassa seca relativa de folhas com boa precisão para todos os híbridos. Já para a fitomassa seca da parte aérea foi possível o ajuste de um único modelo, o que provavelmente decorreu do uso dos valores absolutos. Não houve diferença significativa entre as estimativas de máxima verossimilhança da variância residual da análise de regressão pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade do erro, quando se compararam os modelos dentro de cada híbrido para fitomassa seca de folhas relativa.

Palavras-chave: curvas de crescimento, modelos não lineares, soma térmica.

Abstract - An experiment was conducted in the Agronomic Sciences Department of the Taubaté University (SP) aiming to propose mathematical models to characterize leaves and above ground dry matter variation of the maize crop, as well as, the maximum dry matter accumulation rate as a function of degree-day. The experimental design was completely randomized with three replications and three hybrids were used: Cargil 901 (early), Cargil 333 B (normal) and Cargil 806 (early). The cosine model proposed by DOURADO NETO (1999). Parameters were added to the model in order to simulate three non linear growing curves, representing sigmoid curves. All models estimated with good precision the relative leafes dry matter for all hybrids. On the other hand, the dry matter of the total above ground plant was possible to fit to only one of the models used, probably as result of using absolute values. There was no significant differences among the estimative of maximum likelihood of residual variance of the regression analysis by the F test at he 5% error probability when comparing the models within each hybrid for relative dry matter of leaves.

Key words: growing curves, non linear models, thermal sum.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Adjunto, Departamento de Fitotecnia, UFSM, CEP 97105-900, Santa Maria, RS. E-mail: silopes@ccr.ufsm.br. Autor para correspondência.

² Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Associado, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-970, Piracicaba, SP.

³ Aluno do Curso de Agronomia, UFSM, CEP 97105-900, Santa Maria, RS. Bolsista FAPERGS.

⁴ Matemática, Aluna do Curso de Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa, Depto Estatística, UFSM, CEP 97105-900, Santa

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) constitui-se num dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo, tanto pelo elevado potencial produtivo quanto pela sua composição química e valor nutritivo (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000). No Brasil, o rendimento médio da cultura de milho é baixo, pela tecnologia atualmente disponível e limitado, principalmente, pela falta de práticas corretas de manejo (GADIOLI *et al.*, 2000). Dessa forma, o conjunto de informações sobre elementos bióticos, clima, planta, solo podem auxiliar tanto o produtor quanto o pesquisador na condução mais adequada da cultura.

Experimentos que estudam o desenvolvimento do milho citam que a duração do ciclo da planta em dias é inconsistente (GADIOLI *et al.*, 2000), pois a duração deste e de seus sub-períodos está associada às variações das condições ambientais e não ao número de dias. A temperatura do ar apresenta-se como o elemento climático mais importante para prever os eventos fenológicos da cultura, desde que não haja deficiência hídrica.

A soma calórica ou graus-dia é definida como a diferença entre a temperatura média diária do ar e a temperatura mínima ou temperatura basal exigida por uma espécie (VILLA NOVA *et al.*, 1972), desde que a temperatura média seja igual ou inferior à temperatura de máximo desenvolvimento ou basal superior (caso seja superior, utiliza-se a basal superior para efeito de cálculo). A maioria dos híbridos ou variedades cultivadas atuais não se desenvolve em temperaturas inferiores a 10°C, que é considerada a temperatura basal para a espécie (BERLATO & SUTILI, 1976).

O ciclo de culturas anuais, com crescimento determinado, pode ser dividido em três partes (PEREIRA & MACHADO, 1987): (i) inicial: crescimento lento; (ii) intermediário: crescimento rápido; e, (iii) final: maturação. A taxa de crescimento da cultura é definida pela variação da fitomassa seca com o tempo e representa a capacidade de produção de fitomassa. Portanto, a fitomassa seca da folha e/ou da parte aérea da planta é parâmetro importante na avaliação do crescimento das plantas, pois sua determinação adequada durante o ciclo da cultura possibilita modelar o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Quando se utiliza a análise de regressão para definir a relação funcional entre duas variáveis, o tipo de modelo pode ser escolhido utilizando-se o conhecimento que se tem do fenômeno, ou por uma análise

prévia dos dados obtidos. Normalmente, ajustam-se mais de um modelo e, de acordo com os resultados e testes estatísticos, escolhe-se o de melhor ajuste. Existem muitos modelos citados na literatura para utilização na análise de crescimento. DOURADO NETO (1999), por exemplo, sugere modelos de crescimento não-lineares que representam uma curva sigmoideal através do uso de parte do modelo matemático do co-seno, que é uma expressão matemática mais simples do que as normalmente utilizadas.

Muitas informações necessárias ao manejo da cultura, associadas à fenologia, dependem do conhecimento da variação temporal da área foliar da cultura. Por exemplo, em quimigação, a estimativa do volume máximo de água armazenável na planta depende da área foliar do milho, possibilitando, com isso, prever a viabilidade da aplicação de defensivos quando o alvo é folha. Ainda, o instante do ciclo da cultura referente à máxima taxa de acúmulo da fitomassa de folha é que determina, por exemplo, a época limite da aplicação de nitrogênio em cobertura (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

O objetivo deste trabalho foi verificar o ajuste do modelo do co-seno para a cultura de milho que permita estimar a variação de fitomassa seca de parte aérea e de folha na cultura do milho, e através da derivada do modelo, determinar a época de máxima taxa de acúmulo de fitomassa seca da parte aérea e de folha em função do desenvolvimento relativo obtido através de graus-dia.

Material e métodos

Um experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, em Taubaté-SP (23° 03' 45" de latitude Sul, 45° 33' 45" de longitude Oeste e 546 m de altitude), em solo Gley Pouco Húmico. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa: tropical de altitude, com inverno seco e chuvas de verão. A média pluviométrica da região varia de 1000 a 1500 mm ano⁻¹; a temperatura média é de 22 °C e a umidade relativa do ar média é de 78%. Realizou-se a calagem com a aplicação de 2,5 t/ha (PRNT - Poder Relativo de Neutralização Total: 70%). O solo foi arado e gradeado (duas gradeações: grade aradora e grade niveladora) para efetuar a semeadura, realizada em 20 de outubro de 1997. As adubações de semeadura e em cobertura foram feitas de acordo com a análise química do solo e do rendi-

mento esperado.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com três híbridos e três repetições. Cada repetição foi constituída por parcelas de 3,2 m de largura (4 linhas) com 30 m de comprimento, ou seja, cada híbrido ocupou uma área de 96 m² repetição⁻¹ (288 m² híbrido⁻¹). Foram utilizados os híbridos Cargill: (i) C-901 (superprecoce), (ii) C-333B (normal) e (iii) C-806 (superprecoce), nas populações de 60.000 plantas ha⁻¹, 50.000 plantas ha⁻¹ e 50.000 plantas ha⁻¹, respectivamente, com espaçamento entre fileiras de 0,8 m.

Para a determinação dos estádios de desenvolvimento, foram selecionadas cinco plantas por repetição de cada híbrido, as quais tiveram todas as folhas marcadas com fita plástica a partir da emergência (fase plântula – 50% da emergência), quando iniciou-se a contagem do número de folhas até a abertura de todas as folhas da cultura (fase vegetativa). Determinou-se, quinzenalmente, a fitomassa seca de folhas e da parte aérea, considerando-se sete épocas de amostragem para os híbridos C-901 e C-806 e oito épocas para os híbrido C-333B. Os estádios de desenvolvimento foram caracterizados segundo FANCELLI & DOURADO NETO (2004).

A secagem das diferentes partes da planta de milho (colmo, folha, pendão e espiga) foi realizada utilizando-se o método padrão de secagem em estufa com circulação de ar forçada e com temperatura de 60°C.

O desenvolvimento relativo da cultura foi calculado desde a sementeira até o ponto de maturidade fisiológica (estádio 10) através da seguinte equação:

$$\left[\frac{D_r}{D_m} \right]^b = \cos^a \left[\frac{p}{2} \left(1 - \frac{D_r}{D_m} \right)^b \right] \quad \text{se } (T_b \leq T_i \leq T_m) \quad (1)$$

em que: D_r refere-se ao desenvolvimento relativo acumulado da cultura até o i-ésimo dia após a sementeira; T_i , à temperatura média diária do ar (°C) no i-ésimo dia após a sementeira (se $T_i > T_m$, faz-se $T_i = T_m$ para efeito de cálculo); $I_{t\text{pmf}}$, ao índice térmico (soma calórica da emergência até o ponto de maturidade fisiológica) (°C dia); e, T_b e T_m , às temperaturas basal (10°C) e basal superior (30°C) da cultura, respectivamente (LIMA, 1995). Os registros diários da temperatura do ar, correspondentes à estação meteorológica de Taubaté, SP, foram obtidos junto ao Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO) do Instituto Agro-

nômico (IAC).

A fitomassa seca de folhas relativa ($FSFr_i$) no i-ésimo dia de amostragem foi calculada por:

$$FSFr_i = \frac{FSFi}{FSFm} \quad (2)$$

em que: $FSFi$ é a média da fitomassa seca de folhas por quatro plantas no i-ésimo dia de amostragem (kg m⁻²); e $FSFm$ se refere à média da fitomassa seca de folhas máxima observada nas amostragens durante o ciclo da cultura (kg m⁻²).

Da sementeira até a emergência das plântulas, o desenvolvimento relativo foi considerado igual a zero ($D_r = \text{zero}$). A partir da emergência das plântulas (1° DAE), a amostragem para determinar a fitomassa seca de folhas e da parte aérea começou a ser efetivada, e, com estes valores, calculou-se a taxa de acúmulo destas variáveis.

Para a fitomassa seca de folha, pressupõe-se também que seu máximo valor seja alcançado antes da maturidade fisiológica. Portanto, o modelo empírico para a variação temporal semanal dessa variável (FSF), em função da escala em graus-dia, foi (DOURADO NETO, 1999):

$$\left[\frac{D_r}{D_m} \right]^b = \cos^a \left[\frac{p}{2} \left(1 - \frac{D_r}{D_m} \right)^b \right] \quad (3)$$

em que D_r se refere ao desenvolvimento relativo em função de graus-dia acumulados nos quais a fitomassa seca é máxima; D_r ao desenvolvimento relativo da cultura no i-ésimo DAE, em função de graus-dia acumulados.

Verificou-se o ajuste do modelo do co-seno em três situações, inserindo-se os parâmetros empíricos para estimar a fitomassa seca de folha relativa:

$$FSFr_i = \cos^a \left\{ \frac{p}{2} \left(1 - \left(\frac{D_r}{D_m} \right)^b \right) \right\} \quad (4)$$

(MANFRON et al, 2003);

$$\left[\frac{D_r}{D_m} \right]^b = \cos^a \left[\frac{p}{2} \left(1 - \frac{D_r}{D_m} \right)^b \right] \quad (5)$$

(DOURADO NETO, 1999);

$$FSFr_i = \left[\cos^a \left\{ \frac{p}{2} \left(1 - \frac{D_r}{D_m} \right)^b \right\} \right] / b \quad (6)$$

em que, a e b referem-se aos parâmetros empíricos do modelo determinados através de análise de regres-

Para a fitomassa seca da parte aérea, pressupõe-se que seu máximo valor seja alcançado na maturidade fisiológica. Portanto, o modelo empírico para a ~~variação temporal semanal dessa variável (FSFr)~~ em função da escala em graus-dia, foi (DOURADO NETO, 1999):

$$\boxed{\phantom{Dr_i = \frac{1}{1 + \exp(-k(D - D_0))}}} \quad (7)$$

em que: Dr_i refere-se ao desenvolvimento relativo da cultura no i -ésimo DAE, em função de graus-dia acumulados.

Verificou-se o ajuste do modelo do co-seno para estimar a fitomassa seca da parte aérea, inserindo-se os parâmetros empíricos de forma semelhante ao procedimento realizado para fitomassa seca de folha relativa através da análise de regressão não linear.

Os critérios para verificar o ajuste dos modelos foram: (i) a suposição de que o crescimento das plantas siga uma curva sigmóide; (ii) a significância do teste de F da análise de regressão; (iii) a magnitude da variância residual entre os modelos do co-seno caracterizados pelo Dr_i ; (iv) coeficiente de determinação entre os valores preditos e observados; e (iv) análise da dispersão dos pontos no gráfico.

Para comparar o ajuste entre os modelos propostos para os três híbridos, utilizou-se o teste de F, em nível de 5% de probabilidade do erro, comparando-se, duas a duas, as estimativas de máxima verossimilhança da variância residual da análise de regressão não-linear:

$$QME = \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (h-1) \right], \text{ em}$$

que Y_i se refere a valores observados no i -ésimo dia de amostragem; \hat{Y}_i , a valores estimados; e η , ao número de amostragens.

Para estimar os parâmetros empíricos dos modelos do co-seno, entre a fitomassa seca de folhas e da parte aérea (variáveis dependentes) e o desenvolvimento relativo do milho (variável independente), utilizou-se o procedimento de mínimos quadrados não lineares de Levenberg-Marquardt, com o auxílio do programa computacional *Table Curve 2D v.2.03* (Jandel Scientific).

A partir da primeira derivada do modelo de melhor ajuste, estimou-se o desenvolvimento relativo

da cultura de milho, em que ocorre a taxa máxima de acúmulo de fitomassa seca de folhas e da parte aérea.

Resultados e discussão

A média da soma calórica para os três híbridos avaliados até a colheita foi de aproximadamente 1700°C dia e 130 dias após a emergência, sendo que o florescimento ocorreu aproximadamente aos 65 DAE (Tabela 1).

O rendimento de grãos aumentou significativamente com os incrementos de fitomassa seca de folha. Porém, devido à semelhança dessas características nos híbridos estudados, os rendimentos de grãos dos três híbridos não diferiram significativamente, e foram: 11222, 10351 e 10301 kg ha⁻¹; para o C-901, C-333B e C-806, respectivamente. GADIOLI, et al. (2000) também observou rendimento semelhante para estes híbridos no plantio de setembro; no entanto, em dezembro houve diminuição acentuada para o híbrido C-901 e C-806 (superprecoces). O híbrido C-333B apresentou menor redução no rendimento, devido ao mesmo possuir maior soma calórica.

Observa-se, na Tabela 2, que o melhor ajuste para FSFr, pelo critério de menor quadrado médio do erro e pela dispersão dos pontos no gráfico (Figura 1) foi obtido com o híbrido C-333B, para os três modelos testados, sendo o híbrido C-901 o que mostrou o pior ajuste, e ambos não diferiram significativamente do híbrido C-806. Entre os modelos, não houve diferença significativa quanto ao ajuste para cada híbrido, sendo assim, qualquer modelo pode ser utilizado para estimar com precisão a FSFr para os três híbridos de milho avaliados. No entanto, pode-se usar o modelo da equação 5, proposto por DOURADO NETO (1999), por ser o modelo mais simples com apenas um parâmetro, fato que facilita sua utilização.

A partir da primeira derivada dos modelos de melhor ajuste, proposto por DOURADO NETO (1999), para a variável FSFr, pode-se estimar que a máxima variação da fitomassa seca de folha ocorre com desenvolvimento relativo de: 0,18; 0,31; e 0,26; para os híbridos: C-901, C-333B e C-806, respectivamente, estes valores correspondem a aproximadamente 20, 35 e 30 dias após a emergência, respectivamente. Este período caracteriza o estágio 2 (Tabela 1), na qual a planta encontra-se com oito folhas expandidas. Neste instante referente à taxa máxima de acúmulo de fitomassa de folhas, o sistema radicular

Tabela 1. Valores da fitomassa seca da parte aérea (FSPA, g planta⁻¹) e da fitomassa seca relativa de folha (FSFr, g planta⁻¹) em função dos estádios de desenvolvimento, número de dias após a emergência (DAE), soma calórica (GD, °C.dia) e desenvolvimento relativo (Dr_i) referentes a três híbridos de milho: Cargil 901, Cargil 333B e Cargil 806.

Estádios	Data	DAE	GD	Dr _i	FSPA	FSFr
Cargil 901						
1	10/11/97	15	236,0	0,15	2,279	0,0590
2	25/11/97	30	447,4	0,29	23,130	0,3636
3-4	10/12/97	45	648,1	0,42	78,357	0,9706
5-6	26/12/97	61	877,2	0,56	135,825	0,9654
6-7	10/01/98	76	1095,1	0,70	222,336	0,9984
8-9	26/01/98	92	1328,1	0,85	263,474	1
10	10/02/98	107	1560,6	1,00	331,099	0,9373
Colheita	02/03/98	127				
Cargil 333B						
1-2	10/11/97	15	236,0	0,13	2,428	0,0405
2-3	25/11/97	30	447,4	0,25	27,083	0,2681
3-4	10/12/97	45	648,1	0,36	74,460	0,6340
4-5	26/12/97	61	877,2	0,49	158,863	0,8545
5-6	10/01/98	76	1095,1	0,61	225,407	0,8999
7-8	26/01/98	92	1328,1	0,74	329,863	1
8-9	10/02/98	107	1560,6	0,87	373,844	0,9052
9-10	25/02/98	122	1770,2	0,98	409,702	0,8593
10	27/02/98	124	1802,2	1,00		
Colheita	11/03/98	136				
Cargil 806						
1-2	10/11/97	15	236,0	0,14	3,133	0,0644
2-3	25/11/97	30	447,4	0,27	26,579	0,3301
3-4	10/12/97	45	648,1	0,40	87,273	0,8406
5-6	26/12/97	61	877,2	0,54	168,940	0,8799
6-7	10/01/98	76	1095,1	0,67	258,034	0,9375
8-9	26/01/98	92	1328,1	0,81	353,571	1
9-10	10/02/98	107	1560,6	0,95	366,340	0,8392
10	16/02/98	113	1637,8	1,00		
Colheita	03/03/98	128				

encontra-se bem distribuído no solo, com acentuada taxa de absorção de nutrientes por parte da planta, principalmente nitrogênio (FANCELLI & DOURADO NETO, 2004).

Entre os modelos propostos para FSPA, somente o modelo

obteve ajuste

pela metodologia utilizada, possivelmente pela utilização dos valores absolutos da variável dependente. Observa-se, pela Tabela 2, que não houve diferença significativa entre os modelos propostos para os híbridos quanto às estimativas da variância residual pelo

teste de F, em nível de 5% de probabilidade do erro (Figuras 1a, 1c e 1e).

A partir da derivada do modelo ajustado para FSPA, estimou-se a máxima taxa de acúmulo de fitomassa, que ocorreu com o desenvolvimento relativo de: 0,61; 0,58; e 0,59; para os híbridos: C-901, C-333B e C-806, valores estes que correspondem a aproximadamente 65, 70 e 65 dias após a emergência, respectivamente. Este período caracteriza o estágio 5, no qual ocorre o início de florescimento e polinização da planta. Neste estágio, evidencia-se a grande influência do ambiente no desenvolvimento da planta, recomendando-se criterioso planejamento da cultura, com relação à época de semeadura e à

Tabela 2. Quadrados médios do erro dos modelos do co-seno ajustados com a variável desenvolvimento relativo em função de graus-dia (Dr_i) para as estimativas de fitomassa seca da parte aérea ($F\hat{S}PA_i$) e fitomassa seca relativa de folhas ($F\hat{S}Fr_i$) para três híbridos de milho.

Modelos ¹	Híbridos		
	C-901	C-333B	C-806
	$F\hat{S}Fr_i$		
$FSFr_i = \cos^a \left\{ \frac{p}{2} \left(1 - \frac{Dr_i}{Dr_m} \right) \right\}$	0,021222 A ²	0,004066 B	0,010328 AB
$FSFr_i = [\cos^a \left\{ \frac{p}{2} \left(1 - \frac{Dr_i}{Dr_m} \right) \right\}] / b$	0,022074 A	0,004529 B	0,011950 AB
$FSFr_i = \cos^a \left\{ \frac{p}{2} \left(1 - \left(\frac{Dr_i}{Dr_m} \right)^b \right) \right\}$	0,013962 A	0,002044 B	0,008071 AB
	$F\hat{S}PA_i$		
$FSPA_i = [\cos^a \left\{ \frac{p}{2} (1 - Dr_i) \right\}] / b$	166,79186 A	48,751529 A	94,634249 A

¹ “a” e “b” são os parâmetros dos modelos; Dr_m = desenvolvimento relativo em função de graus-dia em que a fitomassa seca é máxima;

² Quadrados médios do erro ponderados pelos graus de liberdade seguidos por mesma letra na horizontal, dentro de cada modelo, não diferem entre si, pelo teste de F em nível de 5% de probabilidade do erro. Não houve diferença significativa entre os quadrados médios do erro dos modelos para $FSFr_i$ pelo teste de F.

escolha do cultivar, de forma a garantir as condições meteorológicas mais favoráveis possíveis às plantas neste estádio (FANCELLI & DOURADO NETO, 2004).

Os valores obtidos dos coeficientes de determinação, apresentados na Figura 1, evidenciam que os melhores ajustes foram para a FSPA, e que a maior diferença entre os valores preditos e observados ocorre no período final do ciclo, o que concorda com COSTA & BARROS (2001) que observaram menor precisão ao se modelar as variações de fitomassa seca durante o estádio reprodutivo ao testarem um modelo de simulação de crescimento para a cultura de milho. Para a variável $FSFr_i$, o ajuste não foi tão bom quanto FSPA, e a variabilidade entre os pontos preditos e observados ocorreu durante todo o ciclo da cultura.

Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que os modelos testados podem ser utilizados para estimar a variação temporal da fitomassa seca de folha e da parte aérea da cultura de milho em função do desenvolvimento relativo caracterizado por graus-dia.

Referências Bibliográficas

BERLATO, M.A.; SUTILI, V.R. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência – pendoamento e emergência – espigamento de 3 genótipos de milho. In: REUNIÃO TÉCNICA DE MI-

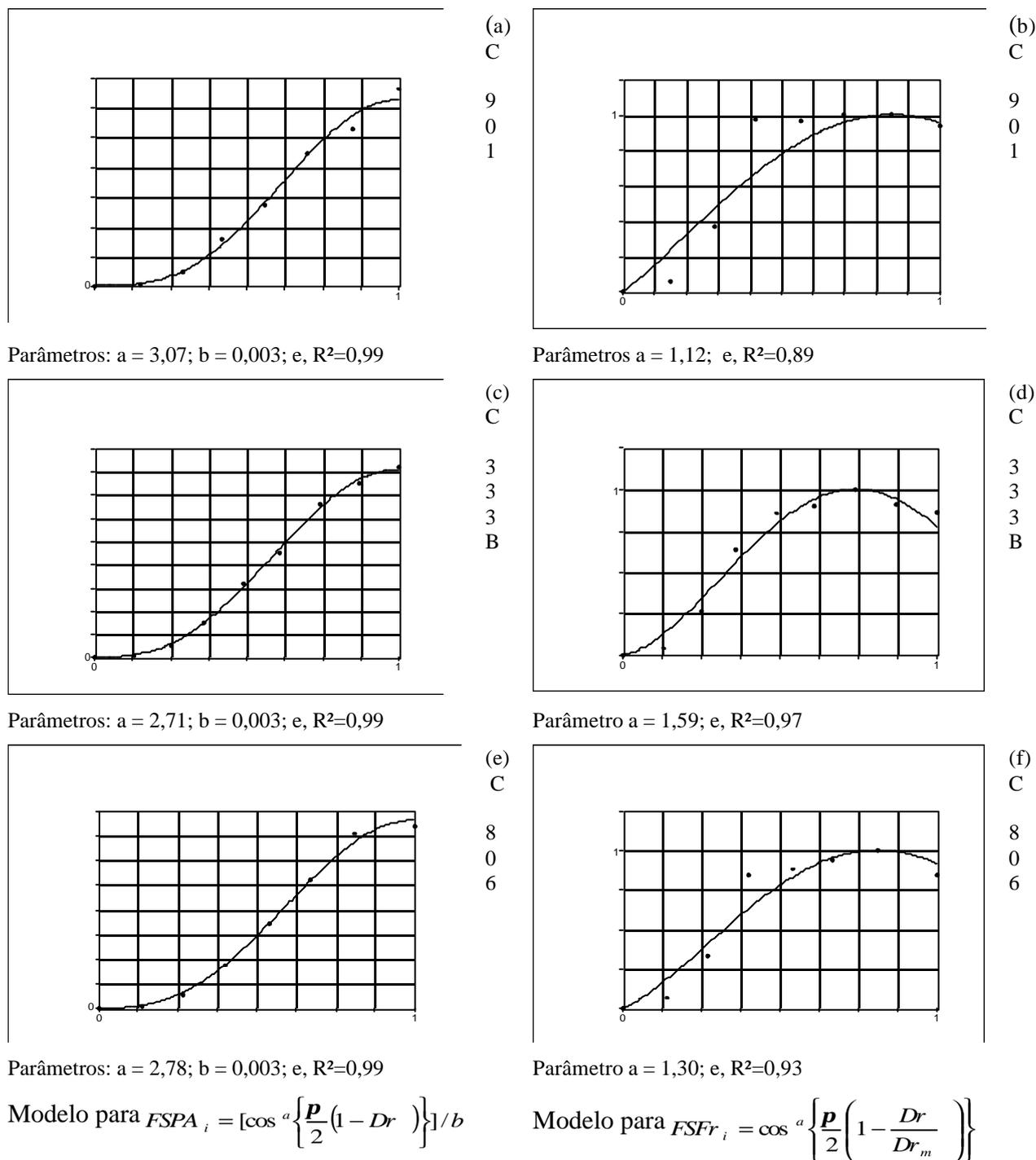


Figura 1. Modelo do co-seno, com os parâmetros e coeficiente de determinação (R^2), estimando a fitomassa seca de folha relativa (FSFr) e e fitomassa da parte aérea (FSPA) de três híbridos de milho (Cargil 901, Cargil 333B e Cargil 806) em função do desenvolvimento relativo caracterizado por graus-dia (Dr_i).

LHO E SORGO, 21., Porto Alegre, 1976. **Resumos...**, Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 1976. P. 26.

COSTA, L.C.; BARROS, A.H.C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 75-82, 2001.

DOURADO NETO, D. **Modelos fitotécnicos referentes à cultura de milho**. Piracicaba: ESALQ, 1999. 227 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal/ESALQ/USP, 360 p, 2004.

GADIOLI, J.L. et al. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 377-383, 2000.

LIMA, M.G. de. **Calibração e validação do modelo cerez-maize em condições tropicais do Brasil**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 119 p. (Tese de Doutorado: ESALQ).

MANFRON, P.A. et al. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 33 p. (Boletim Técnico, 114).

VILLA NOVA, N.A. et al. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima.**, São Paulo: Instituto de Geografia, USP, 1972. 8 p. (Caderno de Ciência da Terra, n. 30).