

Modelos referentes ao padrão de variação temporal dos componentes de produtividade da cultura de feijão caracterizado por graus-dia

Models of temporal variation pattern of the common bean crop productivity components characterized by degree-days

Daniela Arnold Tisot¹, Aline de Holanda Nunes Maia², Durval Dourado Neto^{3,5}, Paulo Augusto Manfron^{4,5}, Antonio Luiz Fancelli³, José Laércio Favarin³, Sidinei José Lopes⁴ e Sandro Luis Petter Medeiros⁴

Resumo - Com o objetivo de caracterizar o padrão da variação de fitomassa seca de raízes, hastes, folhas e órgãos reprodutivos da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em função do desenvolvimento relativo (ou número de graus-dia relativo) e de diferentes doses de nitrogênio, um experimento foi conduzido na área do Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, com a variedade cultivada IAC-Carioca Tybatã. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e vinte e sete tratamentos, constituídos de combinações dos fatores doses de nitrogênio (0, 60 e 120 kg.ha⁻¹) e épocas de avaliação (9 estádios fenológicos). Foram avaliados fitomassa seca de raízes (FSr), hastes (FSh), folhas (FSf), órgãos reprodutivos (FSor) e fitomassa seca total (FST) em cada estágio fenológico. Foram ajustados dois tipos de modelo para cada órgão: um considerando a fitomassa seca absoluta e outro considerando a fitomassa seca relativa (relação entre o valor da fitomassa seca observada em cada época e o valor máximo observado de fitomassa seca), ambos em função do desenvolvimento relativo da cultura. Observou-se um padrão de variação sigmóide para FSor e FST. Para FSh e FSf, o padrão foi sigmóide até o ponto de máximo valor, com posterior declínio. Nas doses 0 e 120 kg.ha⁻¹ de N para FSr, o padrão foi semelhante ao da FSor e FST; na dose 60 kg.ha⁻¹, ocorreu declínio da fitomassa no final do ciclo. Concluiu-se que: (i) os modelos propostos são adequados para caracterizar a variação de fitomassa seca total, bem como de raízes, hastes, folhas e órgãos reprodutivos durante o ciclo da cultura de feijão; (ii) o padrão de acúmulo de fitomassa seca, em termos absolutos, é influenciado pelas doses de N, porém, em termos relativos, é semelhante entre as doses de N para um mesmo órgão; e (iii) há relação entre fenologia e desenvolvimento relativo.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, modelagem, soma térmica, fenologia.

Abstract - With the purpose of characterizing the temporal variation pattern of the roots, stems, leaves and reproductive organs dry mass of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop as function of nitrogen fertilization, an field experiment was carried out at Crop Science Department, University of São Paulo, Piracicaba, São Paulo State, Brazil. The cultivar was IAC-Carioca Tybatã and the statistical experimental design was completely randomized, where the treatments were nitrogen doses (0, 60 and 120 kg.ha⁻¹) associated with nine crop phenological stages. The following parameters were evaluated: roots (FSr), stems (FSh), leaves (FSf), reproductive organs (FSor) and total (FST) dry mass for each phenological stage. Two models were used for each plant organ considering the absolute and relative values as function of relative crop development. The sigmoid pattern for FSor and FST was observed. For FSh and FSf, the sigmoid pattern was obtained until maximum observed value, with posterior decline. The FSr pattern was equal to FSor and FST for 0 and 120 kg.ha⁻¹ of N doses; there was dry mass decline at end of crop cycle for 60 kg.ha⁻¹ of N. According to the discussion, the results allowed to conclude that: (i) the proposed models are appropriate to characterize the roots, stems, leaves and reproductive organs dry mass variation during the common bean crop cycle; (ii) the dry mass curve pattern, expressed in absolute values, depends on the N dose, but, it is not dependent when expressed in relative values; and (iii) there is relationship between phenology and the common bean crop relative development.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, modeling, thermic index, phenology.

¹Mestre em Fitotecnia. Departamento de Produção Vegetal. Universidade de São Paulo. Caixa Postal 9, 13418-970. Piracicaba, SP.

²Engenheiro Agrônomo. Pesquisadora. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, SP.

³Engenheiro Agrônomo. Professor. Departamento de Produção Vegetal. Universidade de São Paulo. Caixa Postal 9, 13418-970. Piracicaba, SP.

⁴Professor Titular. Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal de Santa Maria. 97105-900, Santa Maria, RS.

⁵Bolsista CNPq.

Introdução

A caracterização do padrão de acúmulo de fitomassa seca é a descrição indireta da alocação relativa de fotoassimilados oriundos da fotossíntese líquida aos diferentes órgãos da planta. A sua importância é definir critérios de intervenção, tais como recomendação de adubação nitrogenada e potássica e controle de plantas daninhas.

A produção de fitomassa seca de raízes (*FSr*) é imprescindível para definir o desempenho da cultura de feijão no campo. Quanto maior for o volume de solo explorado por unidade de planta, menor deverá ser o teor crítico dos diferentes nutrientes no solo. Porém, maior fitomassa produzida de raiz pode não ser desejável, pois maior produção requer maior dispêndio de carboidrato alocado ao sistema radicular em termos relativos, podendo prejudicar o desenvolvimento e o crescimento da parte aérea (especialmente hastes e folhas). Por outro lado, um sistema radicular muito reduzido também não é desejável devido ao maior risco de perda de produtividade da cultura de feijão, em função de estresse biótico (pragas, doenças e plantas daninhas) e abiótico (água e temperatura, principalmente) do ambiente. Sendo assim, o manejo cultural e do ambiente deve propiciar um sistema radicular que cresça compatível com a parte aérea da planta, destacando-se a adubação nitrogenada, a qual possibilita um desenvolvimento e crescimento inicial maior devido ao reduzido volume de solo explorado pelo sistema radicular, em termos absolutos. A importância dessa prática é minimizar a exposição da plântula a patógenos do solo (pragas e doenças) e tornar a cultura mais competitiva por água, nutrientes e luz no início do ciclo vital da cultura (MANFRON, 1993; MANFRON *et al.*, 1993; FANCELLI, 1994; DOURADO NETO & FANCELLI, 2000).

A produção de hastes é fundamental para garantir uma melhor distribuição das folhas para maior interceptação de radiação solar; já a de folhas apresenta importância prática devido à correlação com alguns processos importantes, bem como permite verificar alguns critérios de aferição de manejo (FANCELLI, 1994).

Em genótipos de crescimento indeterminado, o sentido do florescimento é ascendente. Portanto, quanto maior a quantidade de folhas no final do ciclo, maior a autofecundação (cleistogamia) nas flores localizadas no terço superior da planta e, conse-

quentemente, maior será a produtividade. É usual manejar a cultura no intuito de maximizar a duração foliar no final do ciclo (FANCELLI, 1994; DOURADO NETO & FANCELLI, 2000).

Inicialmente, o crescimento do feijoeiro é lento, produzindo nos primeiros 20 *DAE* apenas 5% da fitomassa seca total. Entre o 30 e 50 *DAE*, as plantas crescem rapidamente, diminuindo a taxa de crescimento a partir desse ponto. A diminuição brusca na fitomassa aos 50 *DAE* é devido à senescência das plantas (HAAG *et al.*, 1967; MAFRA *et al.*, 1974).

A absorção de N segue, aproximadamente, a mesma tendência da produção de fitomassa seca (CABALLERO *et al.*, 1985; HAAG *et al.*, 1967; MAFRA *et al.*, 1974). Assim, o suprimento desse nutriente deve ser feito em épocas adequadas. Se o solo apresenta pouco N, ou se a taxa de liberação (decomposição da matéria orgânica) não é suficiente para atender à necessidade da cultura, o N deverá ser complementado na forma de fertilizante. O N também pode ser adquirido através da fixação simbiótica (MORAES, 1988).

A necessidade da utilização de uma escala fenológica (referência de manejo) é fundamental em pesquisas agrícolas sobre épocas de adubação, que devem ser estabelecidas com base em chaves fenológicas: descritivas (DOURADO NETO & FANCELLI, 2000) baseadas nas mudanças morfológicas da planta e nos eventos fisiológicos que se sucedem durante o ciclo de vida da cultura.

Na cultura de feijão, as fases de desenvolvimento não apresentam nítida separação, principalmente quando se trata de plantas de hábito de crescimento indeterminado, com sobreposições representadas pelas possibilidades de emissões simultâneas de folhas, flores e vagens (FANCELLI, 1994). Assim, para maior segurança na definição das ações de manejo na cultura de feijão, faz-se uso da escala fenológica proposta por GEPTS & FERNÁNDEZ (1982), a mais utilizada para essa cultura, cujo ciclo biológico é constituído de 10 estádios de desenvolvimento. A duração do período entre os estádios de desenvolvimento da cultura de feijão pode ser afetada por alguns fatores, entre os quais o genótipo, o clima e a fertilidade do solo (DOURADO NETO & FANCELLI, 2000).

A maioria dos produtores e técnicos tem insisto em planejar utilizando apenas escala de tempo, representada pelo número de dias transcorridos após a semeadura ou emergência (DOURADO NETO &

FANCELLI, 2000). Para um planejamento correlacionado à escala fenológica é necessário prever em que datas ocorrerão as mudanças de estágio da cultura. Isso é possível quando há informação disponível sobre os limites dos estádios expressos em termos de unidades térmicas ou graus-dia (GD) e dados históricos de temperatura do local que permitam prever as temperaturas diárias durante o ciclo da cultura objeto do planejamento.

Na definição de graus-dia, assume-se a existência de uma temperatura abaixo da qual a planta não se desenvolve adequadamente (temperatura base, T_b). Essa definição pressupõe uma relação linear entre acréscimo de temperatura e desenvolvimento vegetal. Cada genótipo possui uma temperatura base, e esse valor pode variar em função da idade da planta. Várias equações têm sido sugeridas para o cálculo das unidades térmicas ou graus-dia, necessárias para que um vegetal atinja um determinado estágio de desenvolvimento e crescimento (MANFRON et al., 1993; FANCELLI, 1994).

O desenvolvimento relativo (Dr) expressa a soma térmica acumulada até um determinado instante t como proporção da soma térmica acumulada durante todo o ciclo da cultura. É calculado dividindo-se o GD no instante t pelo GD máximo, podendo ser utilizado como variável independente em modelos que descrevem a variação temporal da fitomassa seca ao longo do ciclo da cultura (DOURADO NETO & FANCELLI, 2000).

A fitomassa seca relativa de um órgão ao longo do ciclo da cultura pode ser calculada expressando a fitomassa seca (FS) daquele órgão como proporção da fitomassa seca máxima num dado momento. Se os padrões de variação temporal da fitomassa seca relativa (FSR) em função do Dr em diferentes ambientes são similares, informações sobre esse padrão obtidas num determinado local podem ser úteis para planejar de manejo em outras regiões. A vantagem do uso da fitomassa seca relativa é a de possibilitar comparações e extrapolações com experimentos conduzidos em diferentes locais e épocas. Por exemplo, quando as curvas FSR versus Dr são semelhantes para diferentes doses de N, o planejamento da adubação nitrogenada, com base nessa informação, pode ser feito para cultivos em diferentes solos, independente do teor de N (FANCELLI, 1994).

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar o padrão da variação de fitomassa seca de raízes, hastes, folhas e órgãos reprodutivos da cultura de fei-

jão (*Phaseolus vulgaris* L.) em função do desenvolvimento relativo caracterizado por graus-dia para as doses 0, 60 e 120 kg.ha⁻¹ de nitrogênio.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em Piracicaba-SP (22 43' latitude Sul, 47 38' longitude Oeste, 580 m de altitude), em solo classificado como Nitrossolo Vermelho Eutroférrico com textura argilosa/muito argilosa. Foi utilizada a variedade cultivada IAC-Carioca Tybatã-L933LM30630 14-6 (Gen 14-6), a qual possui crescimento indeterminado e porte semi-ereto.

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com vinte e sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos se constituíram de combinações dos fatores doses de N (0, 60 e 120 kg.ha⁻¹) e épocas de avaliação (nove estádios fenológicos). A área total de cada parcela experimental foi 9 m² (3 m de comprimento e 6 fileiras de plantas espaçadas de 0,5 m), sendo a área útil de 4,0 m².

A semeadura foi feita manualmente em 1 de abril de 2002, com 20 sementes.m⁻¹. Após a emergência foi efetuado o desbaste, no qual permaneceram 10 plantas.m⁻¹, perfazendo uma população de 200.000 plantas.ha⁻¹. A adubação de semeadura foi realizada com 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (Fonte: Superfosfato Simples) e 50 kg.ha⁻¹ de K₂O (Fonte: Cloreto de Potássio) para todos os tratamentos. Quanto à adubação nitrogenada, foram aplicados 20, 20 e 20 kg.ha⁻¹ de N (Fontes: Sulfato de Amônio na semeadura e Uréia em cobertura) para as parcelas com dose de 60 kg.ha⁻¹ de N, por ocasião da semeadura, e em cobertura nos estádios V (1 trifólio) e V (3 trifólios) nos dias 19/04 e 10/05, respectivamente; e 20, 50 e 50 kg.ha⁻¹ para as parcelas com 120 kg.ha⁻¹ de N usando as mesmas fontes e épocas utilizadas para a dose de 60 kg.ha⁻¹ de N.

O controle de irrigação foi realizado utilizando-se o seguinte critério: estimativa da evapotranspiração máxima multiplicando o coeficiente de cultura pela evapotranspiração de referência, usando o método de Penman-Monteith (PEREIRA et al., 2002) e os dados meteorológicos do Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP. Procedeu-se a irrigação toda vez que a evapotranspiração máxima acumulada foi igual ou superior ao produto entre o fator de depleção de água no solo e a capacidade de água disponível.

Todos os estádios fenológicos ($V_0, V_1, V_2, V_3, V_4, R_5, R_6, R_7, R_8$ e R_9) foram identificados conforme metodologia proposta por GEPTS & FERNÁNDEZ (1982). Os pontos de mudança entre estádios foram considerados quando 50% das plantas da parcela evidenciaram a diferenciação estipulada. Esses pontos foram expressos em número de dias após a semeadura (DAS), graus-dia (GD) e desenvolvimento relativo (Dr).

Os valores de GD foram calculados considerando a temperatura base inferior de 10°C (MANFRON et al., 1993; DOURADO NETO & FANCELLI, 2000), e os de Dr foram calculados dividindo-se os valores de GD pelo GD máximo, correspondente ao ponto de maturidade fisiológica. Em virtude de o Dr poder ser considerado desprezível no período compreendido entre a semeadura e a emergência, quando comparado ao ciclo completo, e da maior utilidade prática, utilizou-se a soma calórica (GD) a partir da semeadura. Esse procedimento permite prever a época de florescimento e a duração do ciclo a partir da data de semeadura.

As determinações referentes à fitomassa seca de hastes (FSh), folhas (FSf) e órgãos reprodutivos ($FSor$) foram realizadas em cada estádio, em oito plantas retiradas por parcela (amostragem destrutiva), das linhas centrais, totalizando 32 plantas por tratamento. Para a fitomassa seca de raízes (FSr), o número de plantas variou, de estádio para estádio, de 2 a 8 plantas por parcela (amostragem destrutiva) devido às dificuldades de mensuração do sistema radicular no final do ciclo.

Para a determinação da fitomassa seca de cada órgão, as plantas coletadas em cada uma das parcelas correspondentes ao florescimento, foram secas em estufa a 60°C durante 72 horas. Os valores foram inicialmente estimados por planta e, posteriormente, por unidade de área em função da população de plantas da parcela.

Para descrever o padrão de variação temporal da fitomassa seca dos diferentes órgãos, foram ajustados modelos não-lineares, pelo método de quadrados mínimos não-lineares, utilizando o procedimento NLIN ("Non LINear regression") do SAS^3 System (SAS, 1998).

Para FSr , FSh e FSf , foi utilizado o seguinte modelo:

$$\text{se } 0 \leq Dr_e \leq 100$$

$$FS_{ejdp} = k \cdot \exp \left[a_{jd} + b_{jd} \frac{Dr_e}{100} + c_{jd} \left(\frac{Dr_e}{100} \right)^{0,5} \right] + \varepsilon_{ejdp} \quad (1)$$

em que FS_{ejdp} se refere à fitomassa seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do j -ésimo órgão ($j =$ raízes, hastes, folhas) na e -ésima época ($e = V_0, V_1, V_2, V_3, V_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9$) correspondente à d -ésima dose de N ($d = 0, 60, 120$ $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na p -ésima parcela ($p = 1, 2, 3, 4$); k a parâmetro empírico unitário ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) para conferir consistência dimensional ao modelo; Dr_e ao desenvolvimento relativo (%) da cultura referente à e -ésima época de avaliação; a_{jd} , b_{jd} e c_{jd} aos parâmetros empíricos do modelo correspondente à d -ésima dose de N na p -ésima parcela experimental.

Para $FSor$, foi utilizado o seguinte modelo:

$$FSor_{edp} = \begin{cases} 0 & \text{se } 0 \leq Dr_e < Dr_0 \\ \frac{1 - \exp \left[- \left(\frac{Dr_e - Dr_0}{100 \cdot \beta_d} \right)^{\alpha_d} \right]}{1 - \exp \left[- \left(\frac{100 - Dr_0}{100 \cdot \beta_d} \right)^{\alpha_d} \right]} \cdot \gamma_d & \text{se } Dr_0 \leq Dr_e \leq 100 \end{cases} + \varepsilon_{edp} \quad (2)$$

em que $FSor_{edp}$ se refere à fitomassa seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) dos órgãos reprodutivos na e -ésima época correspondente à d -ésima dose de N na p -ésima parcela; Dr_e ao desenvolvimento relativo (%) da cultura de feijão correspondente à e -ésima época de avaliação, Dr_0 desenvolvimento relativo da cultura de feijão correspondente ao início do acúmulo de fitomassa seca dos órgãos reprodutivos; e α_d , β_d e γ_d aos parâmetros empíricos do modelo, sendo γ_d a estimativa da fitomassa seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) máxima dos órgãos reprodutivos referente à d -ésima dose.

Para a descrição da variação temporal da FST (modelo 3⁴), foi utilizado um modelo semelhante ao modelo 2, porém com $Dr_0 = 0$,

pois o acúmulo de FST inicia logo após a emergência:

se

$$FST_{edp} = \gamma_d \left(\frac{1 - \exp \left[- \left(\frac{Dr_e}{100 \cdot \beta_d} \right)^{\alpha_d} \right]}{1 - \exp \left[- \left(\frac{1}{\beta_d} \right)^{\alpha_d} \right]} \right) + \varepsilon_{ed} \quad (3)$$

em

que FST_{edp} se refere à fitomassa seca total ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na e -ésima época, correspondente à d -ésima dose de N na p -ésima parcela; Dr_e ao desenvolvimento relativo (%) da cultura de feijão correspondente à e -ésima época de avaliação; α_d , β_d e γ_d aos parâmetros empíricos do modelo, sendo γ_d a estimativa da fitomassa seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) máxima total.

Optou-se pelo ajuste de um modelo para descrever a variação temporal da FST ao invés de somar os valores preditos de FSr , FSh , FSf e $FSor$ para minimizar os erros associados às estimativas de FST .

Para cada modelo ajustado, foram determinados os valores de Dr correspondentes à máxima fitomassa seca (Dr_{FSmax}) e ao ponto de inflexão da curva (Dr_{TXmax}) ponto na qual a taxa de variação da fitomassa seca por unidade de Dr (TX) é máxima. Curvas de fitomassa seca relativa, correspondentes a cada modelo, foram obtidas dividindo-se os valores estimados em cada época pelo valor máximo estimado da respectiva curva.

Resultados e discussão

Os valores de Dr correspondentes ao início de cada estágio fenológico são apresentados na Tabela 1. O período de germinação, compreendido entre a germinação e a emergência, foi de cinco dias. A colheita foi efetuada oito dias após ter sido atingido o último estágio fenológico (R_9 - ponto de maturidade fisiológica) (Tabela 1).

Os valores estimados dos parâmetros empíricos dos modelos 1, 2 e 3 para as três doses de N são apresentados na Tabela 2. Os padrões de variação temporal da FSr , FSf , FSh , $FSor$ e FST foram semelhantes entre as doses de N para cada um dos órgãos, exceto para FSr na dose 60 kg ha^{-1} , na qual houve um declínio após o ponto de máximo (Figura 1).

A variação temporal de FSr (exceto dose $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), $FSor$ e FST apresentou um padrão sigmoidal com máxima fitomassa observada no final do ciclo (Figura 1). Esse padrão se caracteriza por apresentar taxa de crescimento de fitomassa inicialmente baixa, porém crescente, até atingir o ponto de máxima taxa correspondente ao ponto de inflexão da curva.

Para FSh e FSf , foram observados padrões sigmoidais até o ponto de máximo com posterior decréscimo até o final do ciclo. Esse padrão é consequência da metodologia utilizada. A taxa de crescimento pode apresentar valores negativos devido à senescência, quando a referência é a fitomassa seca observável. No procedimento referente à análise da variação da fitomassa, observa-se apenas o que a

Tabela 1. Número de dias após a semeadura (DAS), data, fenologia, diferença diária entre a temperatura média (T_m , °C) e a temperatura bas. inferior ($T_b = 10^\circ\text{C}$), graus-dia acumulados ($GDac$, °C.dia) e desenvolvimento relativo (Dr) da cultura.

DAS	Data	Fenologia	$T_m - T_b$	$GDac$	Dr
1	01/04/02	Semeadura	16,2	16,2	1
5	05/04/02	Emergência	13,5	77,9	7
7	07/04/02	V_1	13,5	105,3	9
11	11/04/02	V_2	14,5	160,0	14
17	17/04/02	V_3	16,1	251,0	22
26	26/04/02	V_4	13,8	383,4	33
45	15/05/02	R_1	13,1	630,9	55
48	18/05/02	R_2	12,9	665,9	58
53	23/05/02	R_3	7,5	711,6	61
68	07/06/02	R_4	10,5	844,8	73
96	05/07/02	R_9	2,3	1.157,6	100
110	19/07/02	Colheita	-	-	-

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos que descrevem a variação temporal da fitomassa seca acumulada de raízes, hastes, folhas, órgãos reprodutivos e fitomassa seca total da cultura de feijão para as doses 0, 60 e 120 kg.ha⁻¹ de N.

Variável	Parâmetro	Dose de N	Estimativa	Erro Padrão Assintótico	Intervalo de Confiança Assintótico de 95%	
					Limite Inferior	Limite Superior
FSr	a	0	0,349	1,497	-2,809	3,508
		60	3,662	1,705	-7,427	0,103
		120	1,486	1,882	-4,300	1,449
	b	0	-6,179	1,462	-17,836	-6,912
		60	-12,574	1,116	-12,756	-4,108
		120	-8,452	1,140	4,442	20,747
	c	0	12,594	1,492	13,680	31,869
		60	22,775	1,311	9,492	23,649
		120	16,570	1,355	-24,040	-15,887
FSh	a	0	-19,963	1,012	-17,989	-8,314
		60	-13,152	1,116	-21,092	-11,467
		120	-16,220	1,175	-37,933	-27,512
	b	0	37,725	2,572	-30,553	-18,124
		60	24,339	3,067	-34,557	-22,238
		120	28,398	3,080	50,605	69,118
	c	0	59,362	4,816	34,067	56,102
		60	45,084	4,437	41,360	63,234
		120	52,297	4,333	-37,313	-22,912
FSf	a	0	30,113	2,572	-25,028	-10,780
		60	17,904	2,576	-21,825	-15,207
		120	48,516	2,633	-61,304	-41,239
	b	0	-51,272	4,812	-48,350	-27,455
		60	-37,902	4,136	-43,062	-33,482
		120	-38,172	4,174	70,104	104,159
	c	0	82,132	4,816	44,359	78,883
		60	61,621	4,816	54,738	70,676
		120	62,767	4,816	1,526	3,093
FSor	α	0	2,289	2,171	1,130	3,220
		60	2,171	2,171	1,759	3,686
		120	2,171	2,171	0,211	0,305
	β	0	0,288	0,288	0,184	0,336
		60	0,288	0,288	0,194	0,224
		120	0,288	0,288	1733,375	1869,071
	γ	0	1801,233	11,756	1969,573	2216,277
		60	2092,971	11,756	2106,823	2315,565
		120	2211,774	11,756	2,183	4,053
FST	α	0	2,171	2,171	2,199	3,468
		60	2,171	2,171	2,858	4,106
		120	2,171	2,171	0,599	0,777
	β	0	0,688	0,688	0,576	0,721
		60	0,688	0,688	0,630	0,705
		120	0,688	0,688	2524,369	3151,625
	γ	0	2837,287	14,130	2869,371	3479,164
		60	3172,267	14,130	3358,750	3827,078
		120	3522,267	14,130		

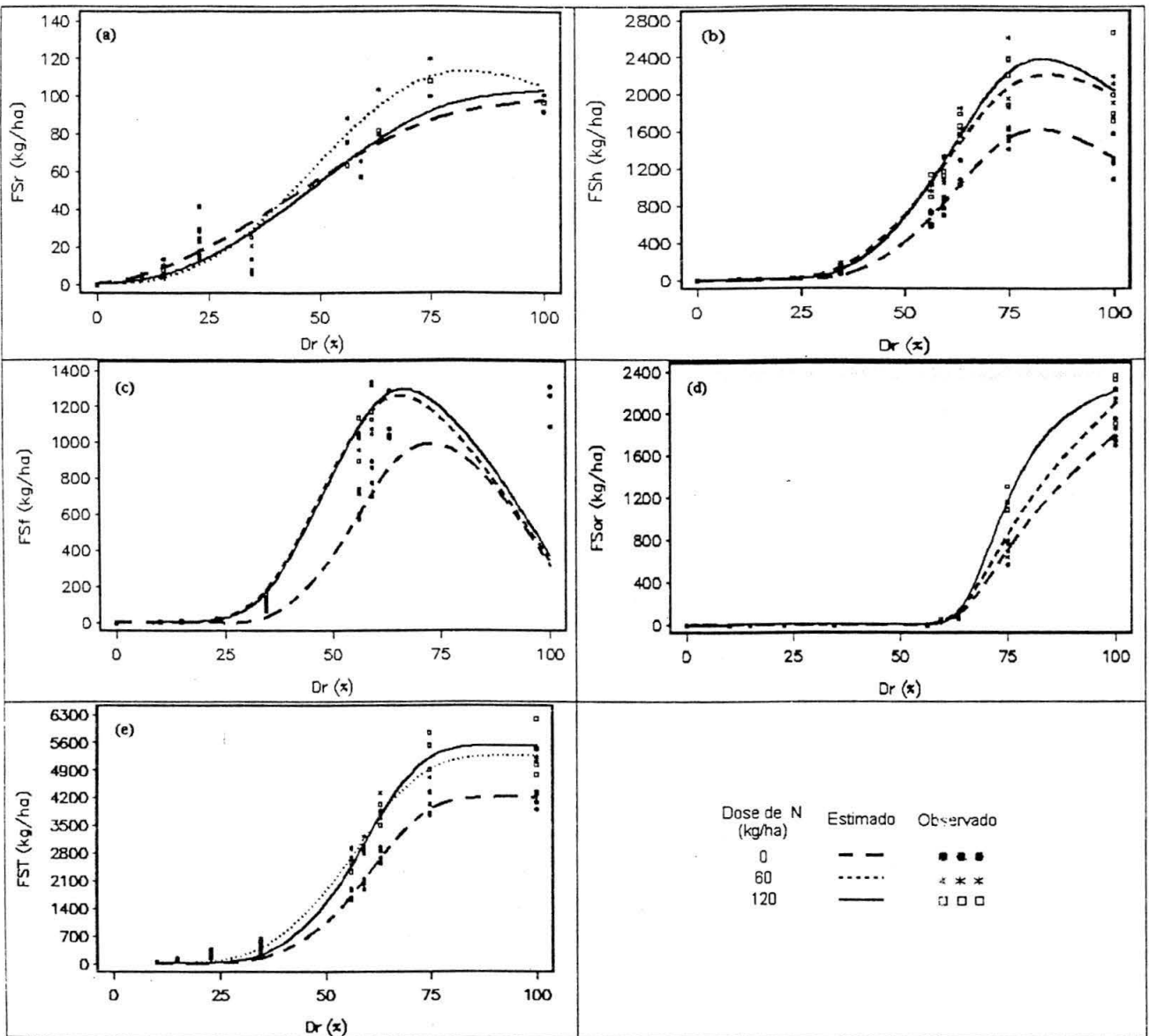


Figura 1. Variação da fitomassa seca em função do desenvolvimento relativo (Dr , %) da cultura de feijão para diferentes doses de N: (a) raízes (FSr), (b) hastes (FSh), (c) folhas (FSf), (d) órgãos reprodutivos ($FSor$) e total (FST).

cultura apresenta no momento e não o que foi produzido até então.

Os valores de Dr correspondentes aos pontos de máxima taxa de variação de fitomassa (Dr_{TXmax}) e de máxima fitomassa para todos órgãos da planta (Dr_{FSmax}) e para FST são apresentados na Tabela 3.

A produção de folhas apresentou padrão similar a raízes e a hastes, exceto para a dose de 0 $kg \cdot ha^{-1}$. Houve uma defasagem referente ao ponto de

máximo acúmulo de FSf para as doses de 60 e 120 $kg \cdot ha^{-1}$.

Resultados similares foram obtidos por MAFRA et al. (1974) em experimento conduzido utilizando a variedade cultivada Rico 23. As raízes apresentaram a máxima fitomassa no intervalo de 40 a 50 DAE; as hastes, dos 40 aos 60 DAE; e as vagens, entre 50 e 70 DAE. As folhas atingiram esse máximo dos 30 aos 50 DAE, e, aos 70 DAE, senesceram com-

Tabela 3. Ponto de máxima fitomassa seca ($Dr_{F_{max}}$), pontos de inflexão ($Dr_{Tx_{max}}$) e coeficientes de determinação (r^2) dos modelos que descrevem a variação de fitomassa seca dos diferentes órgãos em função do desenvolvimento relativo da cultura.

Variável	Dose de N (kg.ha ⁻¹)	$Dr_{F_{max}}$ (%)	F_{smax} (kg.ha ⁻¹)	$Dr_{Tx_{max}}$ (% ¹)	r^2 (%)
FSr	0	100	98,014	42,7	86,62
	60	84,69	114,272	47,3	94,01
	120	96,55	103,117	47,9	94,15
FSh	0	83,66	1.658,82	61,0	98,07
	60	85,78	2.267,89	59,1	96,79
	120	84,79	2.435,29	60,3	97,16
FSf	0	72,20	997,77	55,4	96,02
	60	66,08	1.263,77	47,3	93,33
	120	67,12	1.299,81	48,3	98,62
FSor	0	100	98,01	70,6	99,26
	60	100	105,63	69,9	98,21
	120	100	102,854	69,3	98,92
FST	0	100	4.213,44	53,9	96,02
	60	100	5.255,96	47,8	93,34
	120	100	5.516,81	53,9	98,63

pletamente. Considerando a fitomassa seca total, o ponto de máximo acúmulo foi atingido aos 60 DAE. Nesse ponto, as vagens também apresentaram fitomassa seca máxima coincidindo com o início da queda de folhas. As raízes também atingiram a fitomassa seca máxima entre 40 e 50 DAE, mas as hastes alcançaram esse ponto aos 50 DAE, e as vagens aos 70 DAE. O ponto de máxima fitomassa seca de folhas ocorreu aos 40 DAE. O máximo de fitomassa seca total da planta ocorreu dos 50 aos 70 DAE, desconsiderando as folhas senescentes. Porém, para que os resultados sejam extrapoláveis para outras localidades, sugere-se utilizar no modelo de caracterização o número relativo de graus-dia (ou desenvolvimento relativo) da cultura, como variável independente (referência de planejamento), associado à fenologia (referência de manejo) e ao tempo (referência prática) (Tabela 1).

O padrão de crescimento durante a fase reprodutiva é uma sigmóide estritamente crescente, em que o valor máximo ocorre no ponto de maturidade fisiológica (R_p) (Figuras 1 e 2). No entanto, observa-se que o padrão de crescimento de *FSRor* para as doses 0 e 60 kg.ha⁻¹ apresenta taxas de acúmulo de fitomassa semelhantes e praticamente constante. Esse padrão poderia ser representado por um modelo mais simplificado, como uma aproximação linear, em que o coeficiente angular equivaleria à taxa média de acúmulo de *FSRor* (Figuras 2).

O padrão da curva de crescimento da *FST* em todas as doses de N foi sigmoidal estritamente crescente. Isso significa que a produção de órgãos reprodutivos foi superior à senescência de raízes, hastes e folhas. Quando ocorre o inverso, as taxas de crescimento de *FST*, no final do ciclo são negativas. A menor senescência dos órgãos, em geral, é desejável ocorrer para obtenção de maiores rendimentos (Figura 1).

Conclusões

Nas condições ambientais estudadas, pode-se concluir que: (i) os modelos propostos são adequados para caracterizar a variação de fitomassa seca total, bem como de raízes, hastes, folhas e órgãos reprodutivos durante o ciclo da cultura de feijão; (ii) o padrão de acúmulo de fitomassa seca, em termos absolutos, é influenciado pelas doses de N, porém, em termos relativos, é semelhante entre as doses de N para um mesmo órgão; e (iii) há relação entre fenologia e desenvolvimento relativo da cultura de feijão.

Referências bibliográficas

CABALLERO, S.V. *et al.* Utilização do fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v. 20, n. 9, p. 1031-1040, 1985.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, cap. 1: Ecofisiologia e fenologia, 2000. p. 23-48

FANCELLI, A.L. **Tecnologia para a produção do feijoeiro**. Piracicaba: SEBRAE, 1994. 154 p.

GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: CIAT, 1982. 10 p. (Mimeografado)

HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 26, n. 30, p. 380-391, 1967.

MAFRA, R.C. et al. Efeitos da população de plantas e da época de semeadura na crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). IV. Absorção de nutrientes. **Experientiae**, Viçosa, v. 17, n. 9, p. 217-239, 1974.

MANFRON, P.A. Efeito do Estresse Hídrico sobre Parâmetros Fisiológicos de Duas Cultivares de Trigo (*Triticum aestivum* (L.) Thell). **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 407-408, 1993.

MANFRON, P.A.; LAZZAROTO, C.; MEDEIROS, S.L.P. Trigo – Aspectos agrometeorológicos. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 237-239, 1993.

MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p. 261-301.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e avaliação prática**. Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002. 478 p.

SAS INSTITUTE. **User's guide**: 7. Cary, 1998. 1028 p.