

## FEIJÃO: CARACTERIZAÇÃO FITOTÉCNICA, EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES

DOURADO NETO, D.<sup>1,7</sup>; FRIZZONE, J.A.<sup>2</sup>; GARCÍA, A.G. Y<sup>3</sup>; BONNECARRÈRE, R.A.G.<sup>3,7</sup>; MANFRON, P.A.<sup>4</sup>; PILAU, F.G.<sup>5</sup>; ROMANO, M.<sup>6</sup>

**RESUMO:** Com o objetivo de caracterizar a partição de fitomassa seca com e sem irrigação (Experimento I) e de propor modelos fitotécnicos para determinar a ordem de grandeza da extração e de exportação (quantidade total de macronutrientes absorvido e exportado - Experimento II) da cultura de feijão, no intuito de nortear ações de manejo, um experimento de campo foi conduzido, utilizando a variedade cultivada Carioca, na área experimental do Departamento de Produção Vegetal (ESALQ, Universidade de São Paulo) localizada em Piracicaba, SP. Além da análise de crescimento (determinação fitomassa de matéria seca de haste, folha, botão floral e vagem) da cultura, fizeram-se com mensurações do (i) teor de nitrogênio, de fósforo, de potássio, de cálcio, de magnésio e de enxofre em diferentes órgãos, e da (ii) produtividade de grãos. Modelos empíricos foram propostos, para determinar a extração e a máxima taxa de absorção e de exportação de macronutrientes. Os resultados permitiram concluir que os modelos propostos são úteis para estimar a massa de matéria seca total e dos diferentes órgãos, a quantidade necessária de fertilizante para a manutenção de produtividade (em função do grão exportado), o período crítico de matocompetição e o estágio fenológico crítico para a aplicação de fertilizante em cobertura.

**Palavras-Chave:** feijão, modelo fitotécnico, extração, exportação, macronutriente.

## COMMON BEAN: PHYTOTECHNICAL CHARACTERIZATION, AND MACRONUTRIENTS EXTRACTION AND EXPORTATION

**SUMMARY:** The purpose of this experiment was to characterize the dry mass partition with and without irrigation and to determine total quantity of extracted and exported macro-nutrients of common bean crop. The field experiment was carried out, using the cultivar Carioca, at Crop Production Department (ESALQ, University of São Paulo) located in Piracicaba, SP, Brazil. The crop growth analysis was done with measurements of (i) nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur contents in different organs, (ii) stem, leaf, flower and legume dry matter mass, and (iii) grain yield. Empirical models were proposed to determine the accumulated extraction, maximum extraction rate and macro-nutrients exportation. The results allow to conclude that the proposed models are useful to estimate total and partial dry matter mass, the needed amount of fertilizer to maintain yield (due to grain exportation), critical period of weed competition and the critical phenological stage to apply fertilizers after emergence.

**Key-words:** common bean, model, extraction, exportation, macro-nutrient.

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP. Piracicaba (SP). E-mail: dourado@esalq.usp.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP. E-mail: frizzone@esalq.usp.br

<sup>3</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ/USP. E-mail: rabonnec@esalq.usp.br

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Fitotecnia do CCR/UFSM. Santa Maria (RS). E-mail: Manfronp@ccr.ufsm.br

<sup>5</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola da ESALQ/USP. E-mail: fgpilau@esalq.usp.br

<sup>6</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ/USP. E-mail: romano@esalq.usp.br

<sup>7</sup> Bolsista CNPq.

Recebido pela Comissão Editorial em: 16.07.03

Aprovado pela Comissão Editorial em: 28.04.04

## INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é o mais importante componente da dieta alimentar do brasileiro, apesar de ter havido, nos últimos cinco anos, declínio no consumo *per capita*. O Brasil é o maior produtor mundial de feijão (produção anual em torno de três milhões de toneladas), com área total anual de 5,5 milhões de hectares (época das águas, seca e inverno com irrigação). O Estado da Bahia destaca-se como grande produtor, devido à maior área plantada (cerca de 750.000 ha) no Brasil (as regiões de Irecê e Barreiras são grandes produtoras) e à agricultura irrigada (60.000 ha). O volume baiano de produção exerce influência no preço no mercado brasileiro. O feijoeiro é cultivado por um grande número de agricultores que exploram diferentes áreas, utilizando diferentes ambientes sociais, econômicos e físicos, bem como diferentes sistemas de produção.

A produtividade média de grãos de feijão no Brasil varia de 600 kg/ha (agricultura de sequeiro) a 3000 kg/ha (agricultura irrigada).

Para a obtenção da produtividade econômica relativa à exploração da cultura de feijão, é necessária uma adubação balanceada. O recomendado é fazer a correção da camada superficial com calcário e da camada subsuperficial com gesso (Souza et al., 1996). Uma vez feita a calagem, o usual é fornecer nutrientes através da adubação química, principalmente, e orgânica. O conhecimento dos sintomas de deficiência e das funções dos macronutrientes minerais é de fundamental importância para o produtor rural e para o pesquisador (Thung & Oliveira, 1998; Vitti et al., 1999).

Segundo Cantarella et al. (1996), para a produtividade de 900 a 2500 kg/ha, a planta inteira absorve 102, 9, 94 e 15 kg/ha de nitrogênio, de fósforo, de potássio e de enxofre, respectivamente, enquanto

a exportação é, respectivamente, de 41, 4, 9, e 10 kg/ha. Segundo Malavolta & Lima Filho (1997), para a produção de 1500 kg/ha de grãos (população: 250.000 plantas/ha), são extraídos e exportados, respectivamente, (i) nitrogênio: 101 e 34 kg/ha; (ii) fósforo: 9 e 3 kg/ha; (iii) potássio: 92 e 20 kg/ha; (iv) cálcio: 54 e 4 kg/ha; (v) magnésio: 18 e 4 kg/ha; e (vi) enxofre: 25 e 9 kg/ha. Sendo assim, o feijoeiro proporciona na devolução dos restos culturais, o retorno de cerca de 67 kg/ha de nitrogênio, 5 kg/ha de fósforo, 78 kg/ha de potássio, 51 kg/ha de cálcio, 15 kg/ha de magnésio e 9 kg/ha de enxofre (Oliveira & Costa, 1998).

O feijoeiro, no período entre 45 e 55 dias (período pré-florescimento) após a emergência, acumula diariamente cerca de 67 kg/ha de matéria seca em média (Cobra Neto et al., 1971).

O número de nós por área, a área foliar, a duração da área foliar e o número de vagens por planta são os componentes de produção dependentes de manejo. Sendo assim, deve-se procurar manter as folhas do feijoeiro sadias (livres de patógenos e pragas) desde o início do ciclo da cultura, sobretudo após o florescimento. A aplicação de fungicidas tardiamente na lavoura de feijão tem contribuído para a redução da perda de produtividade, devido à manutenção de folhas fotossinteticamente ativas até o ponto de maturidade fisiológica (Fancelli & Dourado-Neto, 1997).

A estratégia a ser utilizada para os componentes da produção relacionados ao manejo é de otimização, e não de maximização. As estratégias dependem da população utilizada, do programa de adubação adotado e da disponibilidade de água e luz, principalmente. Já com relação aos componentes de produção de natureza genética (componentes pouco variáveis), a estratégia refere-se à maximização desses componentes, objetivando atingir o máximo valor inerente à variedade utilizada (Fancelli & Dourado-Neto, 1999).

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar a partição de fitomassa seca com e sem irrigação e de propor modelos fitotécnicos, para determinar a ordem de grandeza da extração e da exportação da cultura de feijão, no intuito de nortear ações de manejo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo (semeado em 14 de abril de 1995) foi conduzido com a cultura de feijão (variedade cultivada Carioca), na área do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP, cujas coordenadas geográficas são 22°42' de latitude sul, 47°38' de longitude oeste e altitude de 540 m.

As observações fenológicas foram realizadas diariamente (Tabela 1), conforme o Centro Internacional de Agricultura Tropical (1981); Gepts & Fernández (1982); e Fancelli & Dourado-Neto (1997, 1999). As determinações de massa de matéria seca da parte

aérea, bem como dos teores de nitrogênio, de fósforo, de potássio, de cálcio, de magnésio e de enxofre, foram realizadas periodicamente. Para o cálculo do número de graus-dia acumulado diariamente, utilizou-se temperatura base inferior de 10°C e temperatura base superior de 28°C.

As médias anuais de temperatura, de precipitação pluviométrica e de umidade relativa do ar, em Piracicaba, são de 21,1°C, 1247 mm e 74 %, respectivamente. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa, clima tropical de altitude, mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. A estação seca ocorre entre o mês de abril e o de setembro, sendo julho o mês mais seco, e os meses de janeiro e fevereiro, os mais chuvosos. O total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm, e a temperatura do mês mais quente oscila entre 22°C e 24°C (Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960).

**Tabela 1** - Fenologia da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

| Fase        | Código         | Caracterização do estágio                                                                                                  |
|-------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vegetativa  | V <sub>0</sub> | Germinação;                                                                                                                |
|             | V <sub>1</sub> | 50% das plantas apresentando cotilédones acima da superfície do solo;                                                      |
|             | V <sub>2</sub> | 50% das plantas apresentando folhas simples expandidas em posição horizontal;                                              |
|             | V <sub>3</sub> | 50% das plantas apresentando o primeiro trifólio completamente desenvolvido (queda dos cotilédones);                       |
|             | V <sub>4</sub> | 50% das plantas apresentando o terceiro trifólio completamente desenvolvido (início do processo de ramificação da planta); |
| Reprodutiva | R <sub>5</sub> | 50% das plantas apresentando botões florais;                                                                               |
|             | R <sub>6</sub> | 50% das plantas apresentando a primeira flor aberta;                                                                       |
|             | R <sub>7</sub> | 50% das plantas apresentando a primeira vagem;                                                                             |
|             | R <sub>8</sub> | 50% das plantas apresentando a primeira vagem cheia;                                                                       |
|             | R <sub>9</sub> | Ponto de maturidade fisiológica (alteração da cor das vagens). Senescência da planta.                                      |

O desenvolvimento relativo da cultura ( $Dr_n$ ), no  $n$ -ésimo dia após a emergência, é definido como a relação entre a soma calórica atual e a soma calórica da cultura correspondente ao ponto de maturidade fisiológica ( $GD_{pmf}$ , °C.dia), definida pela seguinte equação:

$$Dr_n = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - T_b}{GD_{pmf}} (T_b \leq T_i \leq T_m) \quad (1)$$

em que  $T_i$  se refere à temperatura média do ar no  $i$ -ésimo dia após a emergência,  $T_b$ , à temperatura base inferior (10 °C), e  $T_m$ , à temperatura base superior (28 a 30 °C).

A soma calórica da cultura, correspondente ao ponto de maturidade, foi calculada pela seguinte equação:

$$GD_{pmf} = \int_0^{t_{pmf}} T_i(t) dt - T_b \cdot t_{pmf} \quad (2)$$

em que  $T(t)$  refere-se à variação temporal da temperatura entre a emergência e o ponto de maturidade fisiológica, e  $t_{pmf}$ , ao número de dias após a emergência para atingir o ponto de maturidade fisiológica. A soma calórica da cultura, correspondente ao ponto de maturidade pode ser aproximada, numa escala diária, pelo numerador da equação anterior (onde  $n = t_{pmf}$ ).

A temperatura média do ar ( $T_p$ , °C) foi estimada pela média entre a temperatura máxima ( $T_{max}$ , °C) e a mínima ( $T_{min}$ , °C), ou seja:

$$T_i = \frac{T_{max_i} + T_{min_i}}{2} \quad (3)$$

Com o objetivo de fornecer subsídio para planejamento, foi utilizada a soma calórica expressa em termos de desenvolvimento relativo da cultura de feijão

e relacionada à fenologia.

Para a determinação do teor de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro, foram coletadas cinco plantas ao acaso, por repetição (duas repetições por tratamento). Para tanto, foram feitas amostragens quinzenais, determinando-se os teores de nitrogênio, de fósforo, de potássio, de cálcio, de magnésio e de enxofre na folha, na haste, no botão floral, na vagem e no grão.

Para cada órgão (folha, haste, botão floral e vagem), bem como para todos os órgãos conjuntamente (total) (Tabela 2), calculou-se o valor médio (quando não há diferença estatística entre os diferentes tratamentos) ou fez-se uma análise de regressão (teor do elemento em questão, em função da dose de nitrogênio aplicada, quando há diferença estatística entre os diferentes tratamentos).

A produtividade de grãos foi avaliada na metade da área útil da parcela, não utilizada na retirada de plantas para a análise de crescimento (Pimenta, 1998).

**Tabela 2** - Modelos referentes à massa seca de raiz ( $Mr$ ), de folha ( $Mf$ ), de haste ( $Mh$ ), de botão floral ( $Mb$ ), de vagens ( $Mv$ ) e total ( $Mt$ ), em função do desenvolvimento relativo da cultura ( $Dr$ ) de feijão (Carvalho, 2002).

| Órgão        | Modelo                                         | Equação |
|--------------|------------------------------------------------|---------|
| Folha        | $Mf = \frac{a + cDr + eDr^2}{1 + bDr + dDr^2}$ | (4)     |
| Haste        | $Mh = \frac{a + cDr + eDr^2}{1 + bDr + dDr^2}$ | (5)     |
| Botão floral | $Mb = Mo^1$                                    | (6)     |
| Vagem        | $Mv^{0.5} = a + bDr^2$                         | (7)     |
| Total        | $\ln Mt = a + bDr + cDr^{2.5}$                 | (8)     |

Para a estimativa da produtividade pela determinação dos componentes de produção de grãos, utilizou-se a seguinte equação (Pimenta, 1998):

$$R = \frac{P \cdot (V_t - V_c) \cdot S_v \cdot M_s}{10 \cdot (100 - u)} \quad (9)$$

em que R refere-se à produtividade estimada (kg/ha), P, à população (plantas/ha),  $V_t$ , ao número total de vagens totais por planta (vagens/planta),  $V_c$ , ao número de vagens chochas por planta (vagens/planta),  $S_v$ , ao número de sementes por vagem,  $M_s$ , à massa média de matéria seca de uma semente (g/grão) e u, ao conteúdo de água no grão, a base de massa – base úmida (14%).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função de não ter havido diferença estatística entre os diferentes tratamentos (0, 45, 90, 135 e 180 kg/ha de nitrogênio), no nível de significância de 5% pelo teste de Tukey, analisando-se cada época isoladamente, calculou-se a média para cada uma das seis épocas ( $V_3$ ,  $V_4$ ,  $R_5$ ,  $R_7$ ,  $R_8$  e  $R_9$ ), para cada macronutriente (N, P, K, Ca, Mg e S) (Figura 1, Tabela 3). O ciclo da cultura teve duração de 84 dias. Porém, cabe salientar que a fenologia é a principal ferramenta de manejo. A sua utilização permite extrapolar resultados de pesquisa de uma localidade para outra (Fancelli & Dourado-Neto, 1999).

Os teores de nitrogênio e de potássio na haste decresceram durante o ciclo da cultura, para todas as doses de nitrogênio (0, 45, 90, 135 e 180 kg/ha). O teor de cálcio na haste também decresceu durante o ciclo, apresentando, porém, um acréscimo no final. Os teores de magnésio, de fósforo e de enxofre na haste tenderam a permanecer constantes durante o ciclo da cultura.

O decréscimo nos teores observados de nitrogênio e de potássio na haste ocorreu provavelmente por se tratar de elementos de alta mobilidade na planta, os quais foram translocados para as partes mais jovens da planta como o botão floral, a vagem, o grão e até mesmo a folha jovem. Na haste, para todas as doses de nitrogênio, o potássio foi o elemento que apresentou maior teor. Parte da variação observada nos teores dos diferentes elementos na haste pode ser devido a problemas referentes à amostragem, à variabilidade genética do material amostrado ou à variabilidade espacial do solo (fertilidade, principalmente).

Na folha, os teores de nitrogênio, de fósforo, de potássio, de magnésio e de enxofre apresentaram-se constantes durante o ciclo da cultura, em todas as doses de nitrogênio (0, 45, 90, 135 e 180 kg/ha).

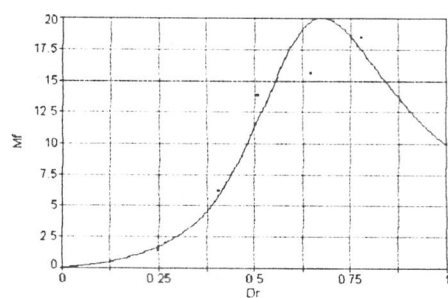
O teor de cálcio na folha apresentou um acréscimo durante o ciclo da cultura, em todas as doses de nitrogênio. Os teores de nitrogênio e de potássio na folha mantiveram-se próximos à relação 1,2:1,0 em torno de 3%. Os teores de magnésio, de fósforo e de enxofre na folha mantiveram-se constantes e próximos durante todo o ciclo, para todas as doses de nitrogênio.

Os teores de nitrogênio, de potássio, de cálcio, de fósforo, de enxofre e de magnésio decresceram (mais pronunciadamente para o cálcio e o nitrogênio), com exceção do potássio, que apresentou um acréscimo, durante o ciclo da cultura, para todas as doses de nitrogênio.

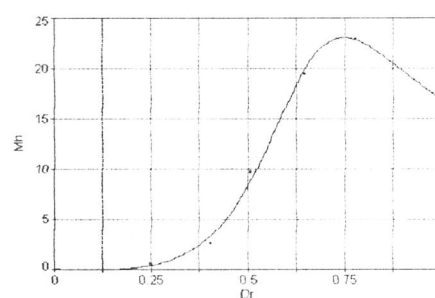
Os teores de nitrogênio, de potássio, de cálcio, de fósforo, de magnésio e enxofre na vagem apresentaram comportamento decrescente (nitrogênio, potássio, cálcio e fósforo) ou constante (magnésio e enxofre), durante o ciclo, para todas as doses de nitrogênio.

**Tabela 3** - Dias após a emergência (DAE), temperatura média do ar ( $T, ^\circ\text{C}$ ), estágio fenológico, graus-dia (GD,  $^\circ\text{C.dia}$ ) e desenvolvimento relativo (Dr) da cultura de feijão durante a fase vegetativa (0) e a reprodutiva (1).

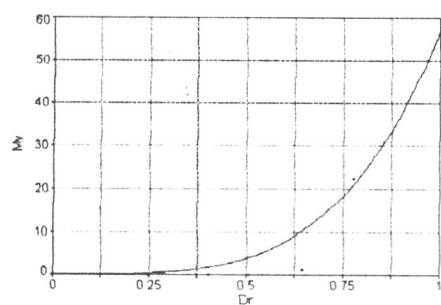
| Dia    | DAE | $T, ^\circ\text{C}$ | Fase | Estádio | $T-T_b$ | GD    | Dr   |
|--------|-----|---------------------|------|---------|---------|-------|------|
| 24/Abr | 0   | 20,9                | 0    | $V_1$   | 10,9    | 10,9  | 0,01 |
| 02/Mai | 8   | 22,8                | 0    | $V_2$   | 12,8    | 112,0 | 0,14 |
| 10/Mai | 16  | 18,1                | 0    | $V_3$   | 8,1     | 202,3 | 0,25 |
| 24/Mai | 30  | 18,9                | 0    | $V_4$   | 8,9     | 331,5 | 0,40 |
| 02/Jun | 39  | 18,6                | 0    |         | 8,6     | 407,0 | 0,50 |
| 03/Jun | 40  | 18,3                | 1    | $R_5$   | 8,3     | 415,3 | 0,51 |
| 11/Jun | 48  | 19,5                | 1    | $R_6$   | 9,5     | 482,9 | 0,59 |
| 16/Jun | 53  | 21,6                | 1    | $R_7$   | 11,6    | 530,4 | 0,65 |
| 28/Jun | 65  | 21,1                | 1    | $R_8$   | 11,1    | 635,4 | 0,78 |
| 17/Jul | 84  | 21,9                | 1    | $R_9$   | 11,9    | 818,8 | 1,00 |



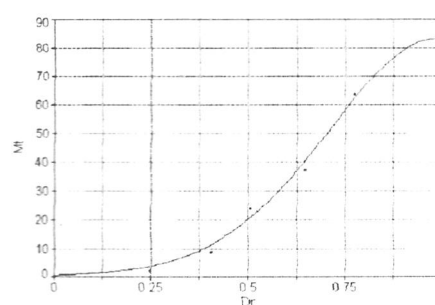
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 1** - (a) Variação da massa de matéria seca de folha ( $M_f$ , g por 5 plantas), (b) variação da massa de matéria seca das hastes ( $M_h$ , g por 5 plantas), (c) variação da massa de matéria seca de vagem ( $M_v$ , g por 5 plantas), (d) variação da massa de matéria seca total ( $M_t$ , g por 5 plantas) do feijoeiro sob irrigação em função do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Tabelas 4, 5, 6 e 7 respectivamente).



**Tabela 4** - Análise de variância e parâmetros empíricos (a, b, c, d, e), referentes ao modelo para a estimativa da massa de matéria seca de folha (Mf, g/5 pl) (Figura 1) do feijoeiro, sob irrigação, em função do desenvolvimento relativo da cultura (Dr).

| FV <sup>1</sup>    | SQ <sup>2</sup> | GL <sup>3</sup> | QM <sup>4</sup> | F                            | r <sup>2</sup> |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|----------------|
| Regressão          | 280,32436       | 4               | 70,081089       | 6,06609                      | 0,5431070417   |
| Erro               | 23,105855       | 2               | 11,552927       |                              |                |
| Total              | 303,43021       | 6               |                 |                              |                |
| Parâmetro empírico |                 | Erro padrão     | Valor t         | Intervalo de confiança (95%) |                |
| a                  | 0,003546275     | 3,366280633     | 0,001053470     | -13,9542597                  | 13,96135229    |
| b                  | -2,84549833     | 2,139536389     | -1,32996024     | -11,7167830                  | 6,025786376    |
| c                  | 2,284770758     | 25,35162319     | 0,090123253     | -102,832145                  | 107,4016868    |
| d                  | 2,302142255     | 3,159644868     | 0,728607914     | -10,7988778                  | 15,40316233    |
| e                  | 2,226254464     | 32,10362426     | 0,069345892     | -130,886878                  | 135,3393870    |

<sup>1</sup> Fonte de variação. <sup>2</sup> Soma dos quadrados. <sup>3</sup> Graus de liberdade. <sup>4</sup> Quadrado médio.

\* Nível de significância: 1%

**Tabela 5**- Análise de variância e parâmetros empíricos (a, b, c, d, e) referentes ao modelo para a estimativa da massa de matéria seca das hastes (Mh, g por 5 plantas) do feijoeiro (Figura 2), sob irrigação, em função do desenvolvimento relativo da cultura (Dr).

| FV <sup>1</sup>    | SQ <sup>2</sup> | GL <sup>3</sup> | QM <sup>4</sup> | F                            | r <sup>2</sup> |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|----------------|
| Regressão          | 2648,0557       | 1               | 2648,0557       | 126,545                      | 0,9429854855   |
| Erro               | 104,62864       | 5               | 20,925728       |                              |                |
| Total              | 2752,6843       | 6               |                 |                              |                |
| Parâmetro empírico |                 | Erro padrão     | Valor t         | Intervalo de confiança (95%) |                |
| a                  | 0,086627828     | 2,473083346     | 0,035028269     | -6,29416419                  | 6,467419845    |
| b                  | 7,431350484     | 2,748087870     | 2,704189544     | 0,341020443                  | 14,52168052    |

<sup>1</sup> Fonte de variação <sup>2</sup> Soma dos quadrados <sup>3</sup> Graus de liberdade <sup>4</sup> Quadrado médio

\* Nível de significância: 1%

**Tabela 6** - Análise de variância e parâmetros empíricos (a, b e c) referentes ao modelo para a estimativa da massa de matéria seca total (Mt, g/5 pl) (Figura 4) do feijoeiro, sob irrigação, em função do desenvolvimento relativo da cultura (Dr).

| FV <sup>1</sup> | SQ <sup>2</sup> | GL <sup>3</sup> | QM <sup>4</sup> | F       | r <sup>2</sup> |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|----------------|
| Regressão       | 6122,7106       | 2               | 3061,3553       | 374,738 | 0,9893825449   |
| Erro            | 32,677277       | 4               | 8,1693193       |         |                |
| Total           | 6155,3879       | 6               |                 |         |                |

| Parâmetro empírico | Erro padrão | Valor t     | Intervalo de confiança (95%) |             |
|--------------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|
| A                  | -0,75600401 | 0,574987182 | -1,31481889                  | 0,842370148 |
| B                  | 8,733393153 | 1,211592234 | 7,208195059                  | 12,10142948 |
| C                  | -3,55735972 | 0,653215982 | -5,44591654                  | -1,74152178 |

<sup>1</sup> Fonte de variação <sup>2</sup> Soma dos quadrados <sup>3</sup> Graus de liberdade <sup>4</sup> Quadrado médio

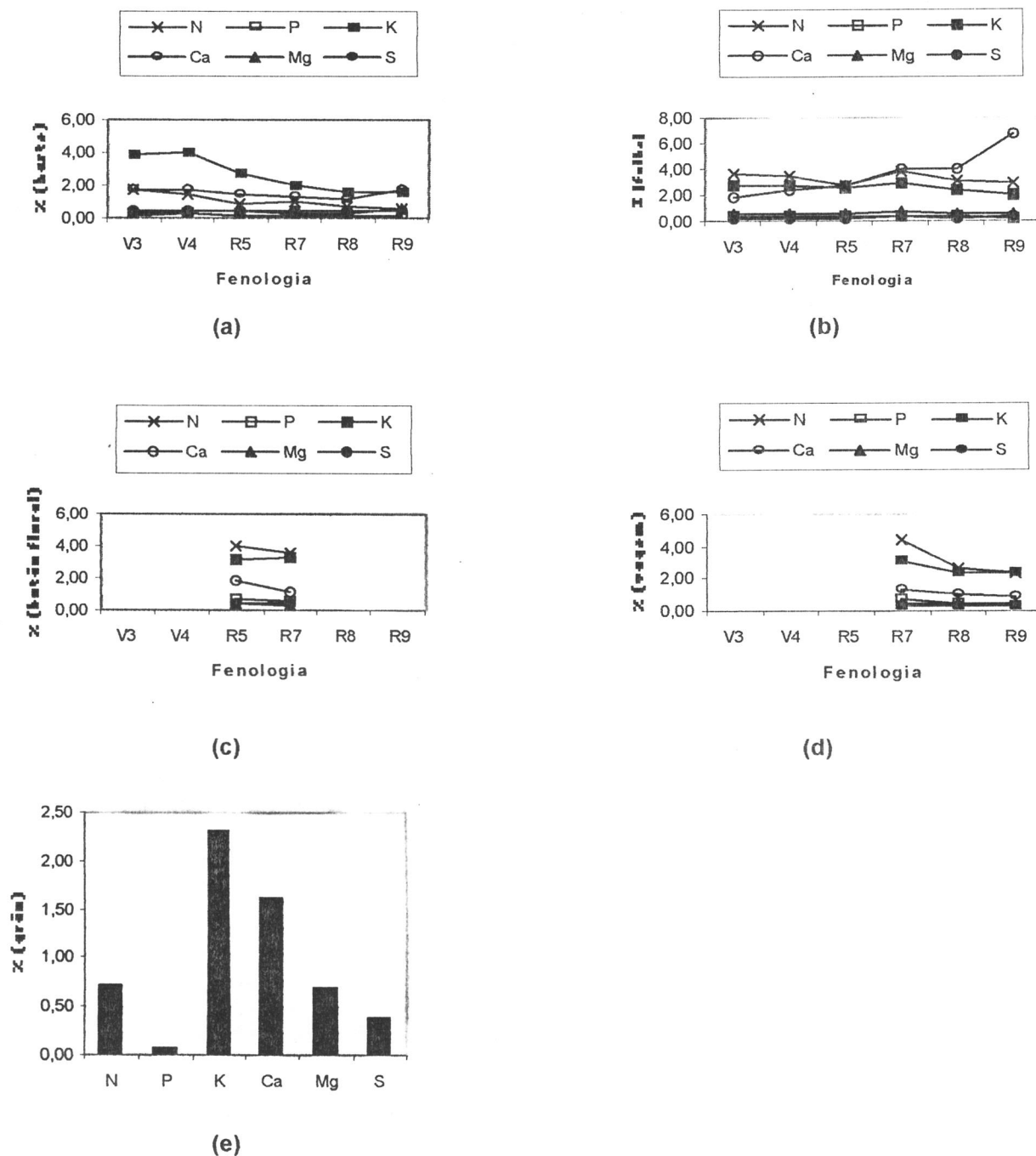
\* Nível de significância: 1%.

**Tabela 7** - Valores médios de plantas por unidade de área (P, plantas/m<sup>2</sup>), vagens totais (Vt, vagens/planta) e chochas (Vc, vagens/planta) por planta, sementes por vagem (S, sementes/vagem), massa de 200 sementes (M<sub>200</sub>, g) e de uma semente (Ms, g/semente) e produtividades obtidas nos diferentes tratamentos (R, g/m<sup>2</sup>), corrigindo-se o conteúdo de água – base úmida - do grão para 14% (Rm, kg/ha) (método de estimativa de produtividade pela pesagem dos grãos) (Pimenta, 1998).

| Tratamento | P    | Vt   | Vc  | S   | M <sub>200</sub> | Ms  | R     | Rm <sup>1</sup> |
|------------|------|------|-----|-----|------------------|-----|-------|-----------------|
| 0          | 23,7 | 12,6 | 2,1 | 4,9 | 35,5             | 0,2 | 249,6 | 2495,2          |
| 45         | 24,3 | 15,6 | 2,1 | 4,8 | 34,3             | 0,2 | 314,3 | 3142,4          |
| 90         | 20,8 | 15,4 | 2,3 | 5,2 | 37,1             | 0,2 | 299,5 | 2994,3          |
| 135        | 23,7 | 13,2 | 2,0 | 4,8 | 34,5             | 0,2 | 263,9 | 2638,9          |
| 180        | 22,9 | 14,2 | 1,9 | 5,0 | 35,9             | 0,2 | 290,3 | 3257,2          |

<sup>1</sup> produtividade média: 2905,6 kg/ha





**Figura 2** - Teores médios (%) (média de todos os tratamentos) de nitrogênio (N), de fósforo (P), de potássio (K), de cálcio (Ca), de magnésio (Mg) e de enxofre (S) na haste (a), na folha (b), no botão floral (c), na vagem (d) e no grão (e) do feijoeiro em função da fenologia.

**Tabela 8** - Extração e exportação de nitrogênio (N), de fósforo (P), de potássio (K), de cálcio (Ca), de magnésio (Mg) e de enxofre (S) nas diferentes partes da planta (haste, folha, botão floral, vagem e grão) (Figura 2).

| Nutriente | Haste | Folha | Botão floral | Vagem | Grão <sup>1</sup> | Extração |
|-----------|-------|-------|--------------|-------|-------------------|----------|
| N         | 24,0  | 75,5  | 86,6         | 71,9  | 16,2              | 274,3    |
| P         | 3,6   | 7,3   | 13,9         | 11,1  | 1,4               | 37,3     |
| K         | 59,8  | 58,5  | 73,8         | 59,2  | 52,9              | 304,3    |
| Ca        | 34,5  | 81,9  | 34,3         | 24,7  | 36,9              | 212,3    |
| Mg        | 9,0   | 13,8  | 7,9          | 8,8   | 16,1              | 55,7     |
| S         | 10,1  | 5,8   | 8,8          | 5,8   | 8,7               | 39,2     |

<sup>1</sup> Exportação

Os resultados obtidos permitiram avaliar que os modelos fitotécnicos propostos são utilizáveis para caracterizar fitotecnica a cultura de feijão, em termos de altura de planta e de produção de massa de matéria seca da raiz, da folha, da haste, da vagem e total (Tabela 7), sob deficiência e suficiência hídrica.

A Tabela 8 ilustra a extração e a exportação total de nitrogênio, de fósforo, de potássio, de cálcio, de magnésio e de enxofre para uma produtividade média de grãos de 2905,6 kg/ha.

Essa caracterização tem importância prática, no sentido de melhor orientar ações de manejo, como a correta definição da população de plantas (em função da altura da planta) e de verificar quando deve ser evitada a competição (a cultura deve estar livre da competição a partir do estágio V4) da cultura, com plantas daninhas, por água e nutrientes (em função da variação temporal da produção de massa de matéria seca).

Os resultados mostraram, ainda, que os modelos fitotécnicos propostos são úteis para determinar a ordem de grandeza da extração (nordeste a definição da época crítica - logo após o V4 - em que se deve recomendar a adubação em cobertura) e da exportação

(subsídio para recomendar a adubação de manutenção) da cultura de feijão.

## CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, pôde-se concluir que os modelos fitotécnicos propostos podem ser utilizados para caracterizar a partição da fitomassa seca com e sem irrigação e para definir a quantidade total de macronutriente absorvidos (extração) e exportados (determinação da ordem de grandeza da extração e da exportação da cultura de feijão).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 1996.
- CARVALHO, E.A. Avaliação fitotécnica da disponibilização de nitrogênio à cultura de feijão sob sistema de semeadura direta. 2002. 63p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Morfologia de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali, 1981. 50p. (Guía de Estudio).
- COBRA NETO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), var. Roxinho. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.28, n.1, p.257-274, 1971.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa, 1999. 359p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA. **Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBSC- Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo**. Piracicaba: FEALQ, 1999. 194p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: FEALQ; ESALQ, Departamento de Agricultura, 1997. 153p.
- GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: CIAT, 1982. 10p.
- MALAVOLTA, E.; LIMA FILHO, O.F. Nutrição e adubação do feijoeiro. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ, 1997. p.22-51.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1986. 674p.
- OLIVEIRA, E.F. de; COSTA, J.M. **Treinamento de fertilidade e nutrição de plantas**. Campo Mourão: COODETEC/COAMO, 1998. 59p.
- PIMENTA, H.S. Modelo empírico, determinístico e dinâmico para estimar o acúmulo de matéria seca do feijoeiro comum. Piracicaba, 1998. 110p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Uso do gesso agrícola nos solos do cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1996. 20p. (EMBRAPA. CPAC. Circular Técnica, 32).
- THUNG, D.T.M.; OLIVEIRA, P.I. **Problemas abióticos que afetam a produção do feijoeiro e seus métodos de controle**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, CNPAF, 1998. p.105-134.
- VITTI, G.C.; FAVARIN, J.L.; RESENDE, L.O.; TREVISAN, W. **Manejo do nitrogênio em diversos sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: Serrana, 1999, v.1. p.38.
- WHITE, J.W. Conceptos básicos de fisiología del frijol. In: LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, F.; van SCHOONHOVEN. **Frijol: investigación y producción**. Colombia, CIAT, 1985. p.43-60.

ISSN 0103 - 5185

# **ENGENHARIA RURAL**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**  
**Departamento de Engenharia Rural**

**v.14, único, 2003**