

## PARTIÇÃO DE BIOMASSA E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJOEIRO COMUM<sup>1</sup>

RODINEI FACCO PEGORARO<sup>2\*</sup>, DARIO OLIVEIRA<sup>3</sup>, CRISTIANO GONÇALVES MOREIRA<sup>4</sup>, MARCOS KOITI KONDO<sup>5</sup>, ARLEY FIGUEIREDO PORTUGAL<sup>6</sup>

**RESUMO** – Estudos relacionados a marcha de absorção e partição de nutrientes nos órgãos do feijoeiro irrigado são escassos e de suma importância para o aprimoramento de modelos de adubação. O presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento por meio de produção de biomassa e absorção de nutrientes nos componentes e parte aérea do feijoeiro comum irrigado, na safra de inverno. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições e sete tratamentos constituídos de coletas de plantas e separação em folhas, haste, vagem+flor e grãos aos 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 dias após a emergência do feijão. Após determinação da matéria seca foi estimado o conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e S absorvidos pela parte aérea e componentes do feijoeiro. Foram ajustados modelos não lineares gaussiano e sigmoidal para caracterizar a produção de biomassa e absorção de nutrientes durante o crescimento do feijoeiro. A absorção de macronutrientes pelo feijoeiro seguiu a ordem decrescente, em kg ha<sup>-1</sup>: 138 de K, 112 de N, 66 de Ca, 16 de P, 11 de S e 7 de Mg, indicando a elevada absorção de K e N pela cultura e a necessidade de reposição do K em cobertura. Na fase inicial de crescimento as folhas foram responsáveis pelo acúmulo de 80% dos macronutrientes na parte aérea e ao final do cultivo, os grãos respondem pela exportação de 90, 75 e 65% do P, N e Mg absorvidos pelo feijoeiro, indicando a elevada taxa de exportação destes macronutrientes.

**Keywords:** Marcha de absorção. *Phaseolus vulgaris* L. Exportação de macronutrientes.

## GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE FOR THE COMMON BEAN IN THE WINTER SEASON

**ABSTRACT** - Studies related to the absorptions and nutrient partitioning in organs of irrigated beans are scarce and very important for the improvement of different fertilization models. This study aimed to evaluate the growth of irrigated common bean in winter, through biomass production and nutrients uptake to organs and shoots. We used a randomized block design with three replications and seven composed of time periods of plant collection (10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70 days after plant emergence) with separation in leaves, stem, flower+pod and grains. After determination of dry matter, the content of N, P, K, Ca, Mg and S absorbed by shoots and components of bean was estimated. Nonlinear sigmoid and gaussian models were fitted to characterize biomass production and nutrient uptake during bean growth. The absorption of by bean decreasing in the following order, in kg ha<sup>-1</sup>: 138 K, 112 N, 66 Ca, 16 P, 11 S and 7 Mg, indicating the high absorption of K and N and demand of K replacement by top dressing. During the initial growth stage, leaves were responsible for 80% of macronutrients accumulation in shoots. In the final growth stage, grains exported 90, 75 and 65% of P, N and Mg absorbed, showing its high export rate.

**Keywords:** Nutrient partitioning. *Phaseolus vulgaris* L. Macronutrient exportation.

\*autor para correspondência.

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 26/06/2013; aceito em 05/04/2014.

<sup>2</sup>Professor do Departamento de Ciências Agrárias - UNIMONTES. Av. Reinaldo Viana, 2630, Bico da Pedra, CEP:39440-000, Janaúba - MG, Brasil; rodinei.pegoraro@unimontes.br.

<sup>3</sup>Mestre em Produção Vegetal no Semiárido – UNIMONTES. Av. Reinaldo Viana, 2630, Bico da Pedra, CEP:39440-000, Janaúba - MG, Brasil; darioagronomia@hotmail.com.

<sup>4</sup>Doutorando em Ciência do Solo do Departamento de Ciência do Solo - Universidade Federal de Lavras (UFLA); moreiracristianog@gmail.com.

<sup>5</sup>Professor do Departamento de Ciências Agrárias - UNIMONTES. Av. Reinaldo Viana, 2630, Bico da Pedra, CEP:39440-000, Janaúba - MG, Brasil; marcos.kondo@unimontes.br.

<sup>6</sup>Analista da Embrapa Milho e Sorgo. Rod MG 424 Km 45, Zona Rural, Sete Lagoas – MG; arley@cnpmembrapa.br.

## INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em quase todo o território brasileiro, em diferentes épocas e sistemas de cultivo, sendo considerado um dos mais importantes constituintes da dieta alimentar da população. É o principal integrante dos sistemas agrícolas irrigados nas regiões Centro-Oeste e Sudeste (SILVEIRA et al., 2003), tendo importante papel nutricional aos seres humanos como fonte de vitaminas, fibras, ferro, isoflavonas, fósforo, magnésio, cálcio, zinco e, principalmente, proteína para a população de baixo poder aquisitivo (BROUGHTON et al., 2003).

A análise de crescimento da planta e a determinação da capacidade de absorção de nutrientes durante o ciclo de cultivo são mecanismos de avaliação que permitem o manejo racional de insumos, água e nutrientes nas espécies vegetais, visando o seu potencial de produção (AUGOSTINHO et al., 2008). Para a previsão da produção, a análise de crescimento tem sido adotada na elaboração de modelos, sendo possível detectar efeitos de deficiências do meio, possibilitando a sua correção, a tempo de não haver o comprometimento da produção final (BENINCASA, 2003).

A determinação da capacidade de absorção de nutrientes por meio da marcha de absorção de nutrientes nos estádios fenológicos pode ser utilizada como método de avaliação para definir estratégias de manejo da adubação (HAAG et al., 1967), em termos de quantidade demandada pelo feijoeiro e definições de épocas adequadas para realização das adubações, visando o uso sustentável dos fertilizantes e do solo.

A recomendação adequada de fertilizantes na cultura do feijoeiro implica em aumento da eficiência na absorção de nutrientes, proporcionando ganhos em produtividade e redução de custos na lavoura (ANGHINONI, 2007). Também, segundo Fageria et al. (2004), a acumulação de nutrientes pode ser utilizada como parâmetro de extração de nutrientes no solo em futuros sistemas de recomendação de adubação.

As fases de maior demanda e acúmulo de nutrientes no feijoeiro podem ser indicados pela marcha de absorção de nutrientes, segundo Vieira et al. (2009), avaliando o acúmulo de nutrientes e desempenho agrônomico de cultivares de feijoeiro comum em diferentes populações e sistemas de cultivo observaram o máximo acúmulo de macronutrientes ao final do ciclo de cultivo e os conteúdos de nutrientes absorvidos e exportados pelos grãos da área de cultivo seguiram a seguinte ordem decrescente: N>K>Ca>Mg>P>S.

No entanto, Vieira et al. (2008), observaram para as cv. Talismã que a taxa de máximo acúmulo de matéria seca ocorreu aos 48 DAE, indicando que o manejo da adubação de cobertura na cultura do feijoeiro deve ser realizado em período que antecede esta fase de crescimento. A identificação do cresci-

mento e da marcha de absorção de nutrientes pelo feijoeiro comum cultivado sob sistema irrigado auxilia na indicação adequada de doses de fertilizantes e do manejo da adubação de cobertura, principalmente com N e K.

Neste contexto, objetivou-se avaliar o crescimento, por meio do acúmulo de biomassa e a absorção de nutrientes durante o ciclo de desenvolvimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado na safra de inverno.

## MATERIAL E MÉTODOS

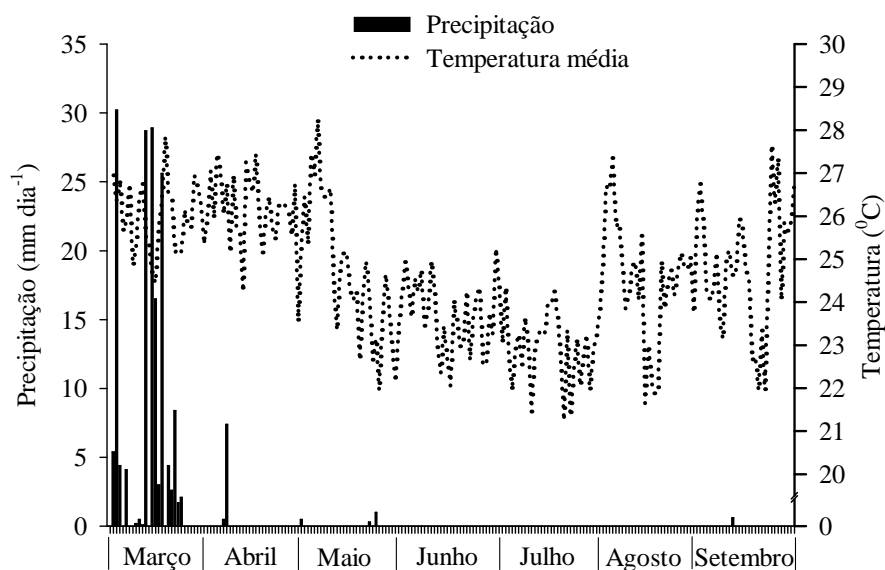
O experimento foi conduzido na safra de inverno de 2011, usando a cultivar Pérola, em condições de campo, no município de Janaúba-MG, sob sistema de cultivo convencional irrigado. A fazenda está localizada a 9 km da cidade de Janaúba, às margens do rio Gortuba com coordenadas geográficas 15° 47' 50" de latitude sul e 43° 18' 31" de longitude oeste, com altitude de 516 metros. O clima foi classificado como Aw (tropical chuvoso, savana com inverno seco) segundo classificação de Köppen, com precipitação média anual de 870 mm. Informações referentes às temperaturas máximas e mínimas e precipitação média observadas no período de condução do estudo estão descritas na Figura 1. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico, de textura média (EMBRAPA, 2006).

A área utilizada para o estudo com feijoeiro fora cultivada anteriormente com milho e sorgo grânifero, as produtividades médias corresponderam, aproximadamente a 8 e 4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e os resíduos vegetais destes cultivos foram mantidos na superfície da área.

O preparo do solo constou de uma aração e gradagem, com posterior abertura de pequenos sulcos para realização da semeadura manual com, aproximadamente 15 sementes por metro linear para, após desbaste, obter a densidade populacional de 240.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Adotou-se semeadura o espaçamento de 0,5 m entre linhas e profundidade de semeadura de 3,0 a 4,0 cm.

A adubação de plantio foi feita mediante a adição de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia; 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio e 110 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples determinada por meio do resultado de análise do solo (Tabela 1) e recomendada de acordo com Chagas et al. (1999). A adubação de cobertura foi realizada aos 20 DAE, aplicando-se 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia. A calagem não foi necessária, visto que a ocorrência de bases do solo de 77% foi considerada adequada para o cultivo do feijoeiro.

Para repor a evapotranspiração diária da cultura, foi realizada a irrigação no sistema de aspersão convencional, constituído de linhas laterais móveis. Os aspersores utilizados foram os da marca Agropolo NY-30 com vazão de 2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (pressão de serviço



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ ) para o período de março a setembro de 2011. Janaúba, Estado de Minas Gerais. Fonte: INMET (2012).

**Tabela 1.** Caracterização química da amostra de solo (0-20 cm) utilizado na área experimental para o cultivo do feijoeiro de inverno.

pH <sup>1</sup>	MO	P <sup>2</sup>	K <sup>2</sup>	Ca <sup>3</sup>	Mg <sup>3</sup>	Al <sup>3</sup>	H+Al <sup>4</sup>	SB	t	T	V	m	P-rem
	dag kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>				.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....					.....%.....		mg L <sup>-1</sup>
5,2	3,6	6,5	141	3,3	0,7	0,0	1,3	4,3	4,3	5,6	77	0	29

<sup>1</sup>pH em água; <sup>2</sup>Extrator: Mehlich-1; <sup>3</sup>Extrator: KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>4</sup>Extrator: Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7; SB: Soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; P-rem: Fósforo remanescente.

de 25 mca) diâmetro molhado de 27 m e espaçamento de 12 x 12m. As regas ocorreram três vezes por semana com um tempo efetivo de irrigação de 3,5 horas, variando de acordo com a necessidade da cultura.

O controle de insetos foi feito mediante a aplicação do inseticida karate (15 mL/bomba de 20 L). Os demais tratamentos culturais foram os normalmente dispensados à cultura na região.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições e foram realizados sete tratamentos constituídos de coletas de matérias vegetais em dias após a emergência do feijoeiro: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 DAE, estas datas corresponderam a amostragem de plantas próximas aos estádios fenológicos: V3 – Primeira folha trifoliolada; V4 – Terceira folha trifoliolada; R5 – Pré-floração; R6 – Floração; R7 – Início da formação de legumes; R8 – Enchimento de legumes; R9 – Maturação, respectivamente.

Cada parcela, onde foram coletadas as plantas para caracterização do crescimento e acúmulo de nutrientes, foi constituída por uma linha central de 5 m de comprimento, sendo amostradas a partir do 10<sup>o</sup>

DAE, 10 plantas centrais de cada parcela por meio de corte rente ao solo. Nas laterais de cada parcela foram semeadas duas linhas com 5 m de comprimento e espaçadas por 0,5 m.

As plantas coletadas foram fragmentadas em folhas, haste, casca + flor (a produção de flores no período reprodutivo inicial foi caracterizada no componente casca + flor das plantas) e grãos para posterior secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65-70 °C até atingir peso constante, sendo as amostras pesadas em balança de precisão, determinando-se o peso da matéria seca (biomassa) e, posteriormente, por hectare ao longo do ciclo da cultura.

Em seguida, as amostras de tecido vegetal foram trituradas e encaminhadas para a determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes contidos na parte aérea das plantas e seus órgãos. O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl; os nutrientes: P, K, Ca, Mg e S foram mineralizados por digestão nitroperclórica para determinação do teor de P por colorimetria, K por fotometria de chama; S por turbidimetria e Ca, Mg por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com Malavolta et al. (1997).

O conteúdo de nutrientes na parte aérea do feijoeiro e seus componentes foi estimado por meio da multiplicação do teor pelo peso da matéria seca das plantas e dividido por 100, e os resultados foram indicados em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

A exportação de nutrientes foi determinada pela diferença entre o conteúdo de nutrientes nos grãos do feijoeiro em comparação ao conteúdo total acumulado na parte aérea. As taxas de acúmulo foram calculadas a partir das equações ajustadas para o acúmulo de cada um dos nutrientes.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância por meio do software de análise estatística Sisvar® (FERREIRA, 2011). A produção de biomassa e a absorção de nutrientes durante o ciclo de desenvolvimento do feijoeiro foram descritas por análise de regressão, com ajuste de modelos não lineares.

Por se tratar de dados quantitativos, e haver uma correlação funcional entre  $x$  (dias após o plantio) e  $y$  (variável resposta) foram escolhidos os modelos de regressão não linear, gaussiano com três parâmetros e o sigmoidal, para representação da produção de biomassa e acúmulo de macronutrientes total e nos componentes do feijoeiro: folhas, haste, casca-flor, e grãos, conforme as equações abaixo:

Modelo 1. Gaussiano

$$\hat{y} = a e \left[ -0,5 \left( \frac{x - x_0}{b} \right)^2 \right]$$

onde:

$a$  = valor de máximo acúmulo.

$x_0$  = valor de  $x$ , em DAE para obtenção de máximo acúmulo de nutrientes.

$b$  = amplitude no valor de  $x$ , em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo.

Assim, a partir do modelo ajustado foi possível determinar, com exatidão, o valor do ponto de inflexão (PI) na curva da seguinte forma:

$$PI = X_0 - b$$

Matematicamente, o PI corresponde ao valor de  $x$  em que a curvatura do modelo ajustado muda de sinal; na prática, isso corresponde ao valor de  $x$ , em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer.

Para as características da planta onde não se obteve ponto de inflexão para máximo acúmulo procurou-se ajustar o modelo Sigmoidal, conforme equação abaixo:

Modelo 2. Sigmoidal

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + e \left[ -0,5 \left( \frac{x - x_0}{b} \right) \right]}$$

onde:

$a$  = valor de máximo acúmulo

$x_0$  = valor de  $x$ , em DAE para início da inflexão da curva (ponto de inflexão, onde ocorre a taxa de máximo acúmulo de nutrientes-PI).

$b$  = amplitude no valor de  $x$ , em DAE, em que ocorre a maior variação de  $y$  (acúmulo de nutrientes).

Para o modelo sigmoidal foram calculados os  $PC_{\min}$  e  $PC_{\max}$ , utilizando-se os parâmetros das equações não lineares:

$PC_{\min}$  indica o momento da curva em que se

$$PC_{\min} = X_0 - 2b \quad PC_{\max} = X_0 + 2b$$

iniciam ganhos expressivos no acúmulo de matéria seca e macronutrientes. Já o  $PC_{\max}$  indica o momento em que o acúmulo de matéria seca e de nutrientes começa a estabilizar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância dos dados demonstrou que o acúmulo de matéria seca e de macronutrientes na biomassa total e nos componentes do feijoeiro foram influenciados significativamente pelas épocas de amostragem ( $p < 0,05$ ).

### Acúmulo de biomassa

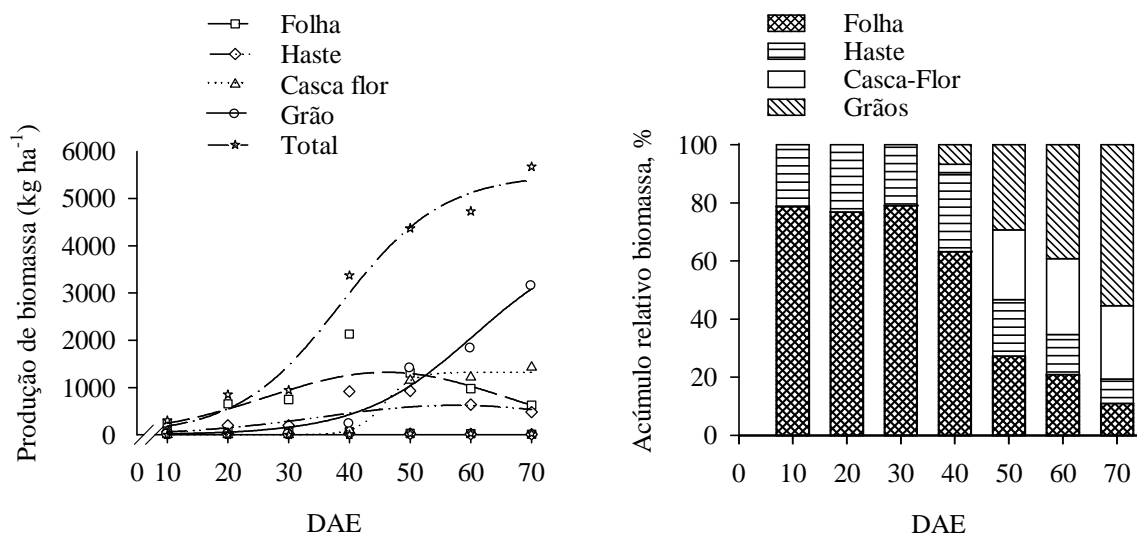
O crescimento do feijoeiro, avaliado por meio da produção de biomassa da parte aérea foi considerado lento até os primeiros 23 DAE (Figura 2), momento em que se obteve o  $PC_{\min}$  (ponto inicial de ganhos expressivos de biomassa). A partir dos 23 DAE notou-se um incremento acentuado no acúmulo de matéria seca da parte aérea do feijoeiro até os 55 DAE, com obtenção do  $PC_{\max}$ , ponto da curva não linear onde iniciou-se a estabilização do crescimento, até o final do ciclo de cultivo (Figura 2). Segundo Vieira et al. (2008), avaliando a altura de plantas e acúmulo de matéria seca do feijoeiro cvs. Ouro Negro e BRS MG Talismã em plantio direto (PD) e convencional (PC) apresentaram incrementos pouco significativos no acúmulo de matéria seca até os 23 e 24 DAE, respectivamente e, segundo Gomes (2000) o período em que ocorrem maiores incrementos no acúmulo de matéria seca varia entre os 35 e 63-70 DAE.

Corroborando com as afirmativas descritas acima, verificou-se que a taxa de máximo acúmulo de matéria seca total, que indica a intensificação máxima do crescimento vegetativo foi obtida aos 39 DAE, e correspondeu ao acúmulo de  $163,80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Vieira et al. (2008) onde a taxa de máximo acúmulo ocorreu aos 45 DAE com valor de  $132,91 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . E, Goulart et al. (2010) afirmaram, ao testarem várias cultivares de feijoeiro (BRS Horizonte,

BRS Cometa, BRS Requite, BRS Grafite, BRS Esplendor e BRS Supremo) em casa de vegetação que a cultivar BRS Requite teve maior taxa de crescimento, avaliada por meio de altura e índice de área foliar, a partir da sexta semana de cultivo, aproximadamente aos 42 DAE.

No momento da colheita do feijoeiro, aproximadamente aos 70 DAE, obteve-se a produtividade de 5.524 kg ha<sup>-1</sup> de biomassa da parte aérea (Figura 2). Este acúmulo foi bem próximo ao encontrado por

Vieira et al. (2008) que obtiveram acúmulo de 5.670 kg ha<sup>-1</sup> e 5.028 kg ha<sup>-1</sup> aos 76 DAE em PC e PD, respectivamente, para a cv. Ouro negro. Entretanto, Jauer et al. (2003), estudando o crescimento da cv. Pérola em quatro densidades de semeadura verificaram aos 75 DAE e para todas as densidades de semeadura, o máximo acúmulo de matéria seca variando entre 6.926,0 e 6.931,7 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Produção de biomassa (matéria seca) e acúmulo relativo de biomassa na parte aérea (total) e componentes da planta nas fases de crescimento, em dias após a semeadura (DAE) do feijoeiro irrigado cv. Pérola, no período de inverno.

**Tabela 2.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado de regressão não linear e taxa de máxima acúmulo de biomassa total e nos componentes do feijoeiro irrigado cv. Pérola, no período de inverno.

Parte da planta	Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado			PI (DAE)	R <sup>2</sup>	Taxa de máxima absorção kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>
	a (kg ha <sup>-1</sup> )	X0 (DAE)	b (DAE)			
Nitrogênio						
Folha <sup>#</sup>	1.322,61	46,02	19,52	26,50	0,89*	37,67
Haste <sup>#</sup>	622,84	57,44	21,93	35,51	0,82*	17,22
Cascaflor <sup>&amp;</sup>	1.324,49	45,76	2,30	45,76	0,99*	142,82
Grãos <sup>&amp;</sup>	4.290,53	60,96	9,58	60,96	0,96*	111,87
Total <sup>&amp;</sup>	5.524,09	38,58	8,43	38,58	0,97*	163,80

<sup>#</sup> Ajuste pelo modelo 2 - Sigmóidal; <sup>&</sup> Ajuste pelo modelo 1 - Gaussiano. \*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os incrementos de matéria seca da folha foram menores até os 20 DAE (Figura 2), no entanto, entre os 26 aos 46 DAE obtiveram-se incrementos acentuados no crescimento do feijoeiro, com posterior declínio no acúmulo de matéria seca da folha. O declínio observado se deve possivelmente à abscisão e queda das folhas no estágio final do ciclo da cultura. A acumulação máxima de biomassa nas folhas ocorreu aos 46 DAE, e correspondeu a 1.322 kg ha<sup>-1</sup>

(Figura 2). Andrade et al. (2009), avaliando a produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão, constataram que para a 'Ouro Negro', o acúmulo da matéria seca da folha foi crescente no período de 12 a 36 DAE, atingindo o valor máximo de 324,84 g m<sup>-2</sup> aos 47 DAE. No período seguinte, de 51 até 65 DAE, houve diminuição da matéria seca de folha. Gomes et al. (2000), obtiveram a máxima acumulação de biomassa nas folhas

entre os 56 e 76 DAE.

A taxa de máximo acúmulo de matéria seca nas folhas ocorreu aos 26 DAE, com o incremento de  $37,67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de folhas (Figura 2 e Tabela 2), coincidentemente, esta fase de crescimento correspondeu ao início do período de florescimento do feijoeiro, momento em que a planta direciona a utilização de fotoassimilados para a produção de componentes reprodutivos em detrimento do crescimento vegetativo.

O incremento de matéria seca na haste foi considerado semelhante àquele obtido na produção de folhas, com acúmulo inicial lento, a partir dos 25 DAE houve um aumento acentuado no acúmulo de matéria seca da haste até os 57 DAE, com  $623 \text{ kg ha}^{-1}$ , momento onde se iniciou o decréscimo de acúmulo (Figura 2 e Tabela 2). Esse declínio deveu-se possivelmente à translocação de fotoassimilados da haste para órgãos reprodutivos do feijoeiro.

O padrão de incremento de matéria seca na haste nas distintas fases de crescimento do feijoeiro obtido em nosso estudo, corrobora com aquele encontrado por Andrade et al. (2009), diferindo apenas quanto ao acúmulo total de matéria seca, segundo estes autores, o acúmulo de matéria seca da haste na cultivar 'Ouro Negro' foi muito pequeno nos primeiros 22 DAE, e foi incrementado até os 59 DAE com o acúmulo máximo de  $194,45 \text{ g m}^{-2}$ , após os 59 DAE, também foi observado pelos autores redução no acúmulo de matéria seca da haste.

A taxa de máximo acúmulo de matéria seca nos componentes reprodutivos flor e vagem (vagem-flor) ocorreram aos 46 DAE, com o incremento de  $142,82 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  (Figura 2 e Tabela 2), momento em que ocorre na fenologia do feijoeiro a formação e enchimento dos legumes (R7 e R8), indicando que após os 46 DAE o feijoeiro irrigado no Norte de Minas Gerais prioriza o processo de acúmulo de fotoassimilados nos grãos em relação a outros órgãos da planta. No entanto, Andrade et al. (2009) observou que os valores de acumulação de matéria seca da vagem na cultivar 'Ouro Negro' aumentaram a partir dos 36 DAE, até atingir  $192,33 \text{ g m}^{-2}$  aos 65 DAE, decrescendo para  $164,26 \text{ g m}^{-2}$  aos 76 DAE.

A produção de grãos iniciou-se aos 40 DAE e foi incrementado até o momento da sua colheita, aproximadamente aos 70 DAE, onde se obteve a produtividade de  $3.145 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 2). Andrade et al. (2009) observaram incremento linear a partir de 51 DAE para o acúmulo de matéria seca nos grãos na cultivar 'Ouro Negro', atingindo  $674,98 \text{ g m}^{-2}$  aos 76 DAE. No entanto, em nosso estudo a taxa de máximo acúmulo ocorreu aos 61 DAE e correspondeu a  $111,87 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  (Figura 2 e Tabela 2), indicando que aos 61 dias de cultivo os grãos do feijoeiro atingiram o momento de maior drenagem de fotoassimilados.

A produtividade de  $3.145 \text{ kg ha}^{-1}$  obtida em nosso estudo para o feijoeiro irrigado foi considerada adequada. Vários estudos realizados no Brasil e ou-

tros países da América do Norte relataram produtividades superiores a  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$  para o feijoeiro. Segundo Barbosa Filho et al. (2005) a utilização de irrigação e maiores doses de N ( $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ) propiciaram a obtenção de produtividades de  $3.100 \text{ kg ha}^{-1}$ , e na Costa Rica, Bertsch et al. (2003) avaliando a curva de absorção de nutrientes em variedades de feijoeiro descreveram produtividades máximas acima de  $3.500 \text{ kg ha}^{-1}$ .

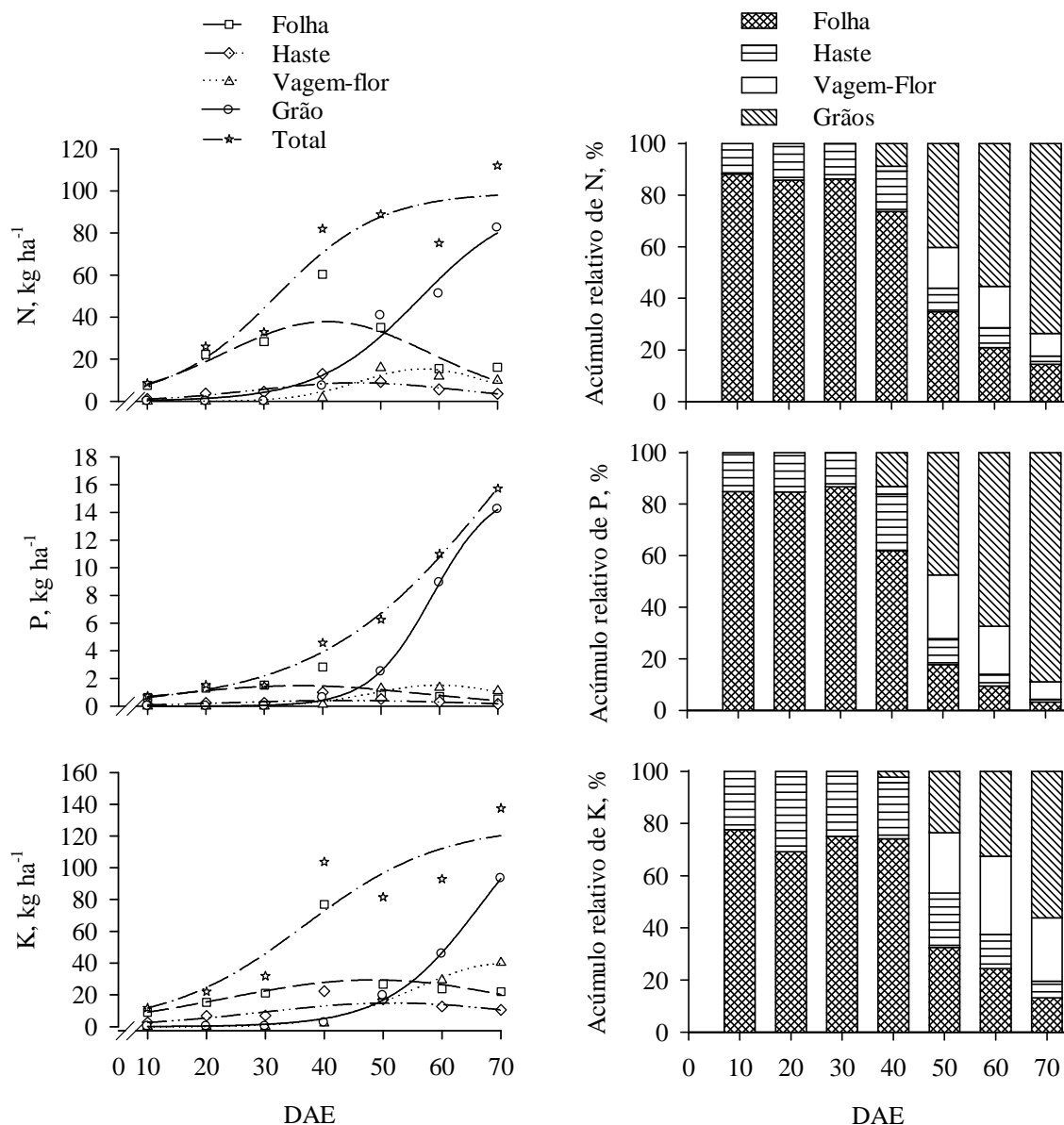
Em relação ao crescimento dos órgãos presentes na parte aérea do feijoeiro foi observado que as folhas respondem por 80% do acúmulo relativo de biomassa do feijoeiro até os 30 DAE (Figura 2), após este período, com o início do estágio reprodutivo e até o final do cultivo, aos 70 DAE, o acúmulo relativo de folhas foi reduzido para valor inferior a 20%, em detrimento da produção de grãos, que respondeu, no momento da colheita pelo acúmulo de, aproximadamente 50% da biomassa total da parte aérea do feijoeiro, indicando a elevada taxa de exportação de biomassa via grãos e a massiva contribuição das folhas na translocação de fotoassimilados para o crescimento de órgãos reprodutivos do feijoeiro. Gomes (2000) observou que o maior acúmulo de matéria seca ocorre inicialmente nas folhas, em seguida nos ramos e posteriormente nos legumes, seguindo uma tendência de translocação de compostos orgânicos e inorgânicos principalmente das folhas para os grãos.

### Acúmulo de macronutrientes

À exceção do Mg, o acúmulo de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro apresentou comportamento sigmoide (Figura 3), indicando que os acúmulos máximos de macronutrientes no feijoeiro ocorreram na fase de maturidade fisiológica, caracterizando o feijoeiro como uma planta que absorve nutrientes até o final do ciclo de cultivo. Vieira et al. (2009), avaliando o acúmulo de nutrientes e desempenho agrônomico de cultivares de feijoeiro comum em diferentes populações e sistemas de cultivo observaram, com exceção do Ca, máximo acúmulo de macronutrientes ao final do ciclo de cultivo do feijoeiro.

#### a) Acúmulo de N, P e K

As taxas de máximo acúmulo de N e K na parte aérea ocorreram entre os 32 e 37 DAE (Figura 3 e Tabela 3), indicando serem estas as fases de maior demanda destes nutrientes pelo feijoeiro. No entanto, Teixeira et al. (2010) obtiveram taxas de máximo acúmulo de N e K no feijoeiro aos 64 e 58 dias, respectivamente. Possivelmente, a redução temporal observada em nosso estudo para a obtenção das taxas de máximo acúmulo tenha ocorrido em virtude do menor ciclo de cultivo do feijoeiro na região Norte do Estado de Minas Gerais (aproximadamente 75 dias).



**Figura 3.** Acúmulo de N, P e K na parte aérea (total) e componentes (folha, haste, vagem + flor e grãos) do feijoeiro, cv. Pérola, no período de inverno e irrigado.

A marcha de absorção de N e K na parte aérea do feijoeiro esteve vinculada diretamente a curva de acúmulo de matéria seca. Nos estádios iniciais de crescimento do feijoeiro houve acúmulo lento de macronutrientes, e a partir dos 14 e 12 DAE ( $PC_{min}$ ), até os 50 e 61 DAE ( $PC_{max}$ ) para N e K, respectivamente, os incrementos na absorção foram acentuados, estabilizando-se a partir da maturidade fisiológica até o final do ciclo.

O período em que se iniciaram ganhos expressivos no acúmulo de N e K ocorreu aos 14 e 12 DAE ( $PC_{min}$ ), respectivamente. Assim, é possível afirmar que a adubação em cobertura deva ser realizada entre os 12 a 30 DAE, pois esta faixa corresponde ao início do incremento da absorção e antecede o momento para obtenção da taxa de máximo acúmulo de N e K no feijoeiro, garantindo a maior

disponibilidade destes nutrientes no solo em sincronia com os estádios de maior demanda pela planta.

Em geral, as recomendações de adubação com N-P-K são utilizadas em sementeira e, somente o N é parcelado em cobertura, entre os 20 e 30 DAE, para produtividades acima de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de grãos (CHAGAS et al., 1999), no entanto, em sistemas irrigados e pela elevada demanda de potássio na parte aérea do feijoeiro, até os 37 DAE seria primordial a utilização de adubação potássica em cobertura para obtenção de maior eficiência produtiva. Segundo Nascente et al. (2012), a produtividade do feijoeiro foi maior com a adubação nitrogenada (60 kg ha<sup>-1</sup>), quando esta foi combinada com a suplementação de potássio em cobertura (60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, aos 12 DAE), ao estudarem várias cultivares dos grupos preto, carioca e especial, em Gleissolo hidromórfico

no estado do Tocantins.

A absorção de P na parte aérea de feijoeiro seguiu o modelo não linear sigmoidal (Figura 3 e Tabela 3). Este comportamento demonstrou a necessidade de suprimento contínuo desse elemento à

planta. Segundo Zucareli et al. (2006), apesar da importância do suprimento de P nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura, é necessário também que o elemento esteja disponível à planta nas fases posteriores.

**Tabela 3.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado de regressão não linear e taxa de máximo acúmulo dos macronutrientes N, P e K na parte aérea (total) e componentes (folha, haste, vagem+flor e grãos) do feijoeiro.

Parte da planta	Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado			PI (DAE)	R <sup>2</sup>	Taxa de máxima absorção kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>
	a (kg ha <sup>-1</sup> )	X0 (DAE)	b (DAE)			
Nitrogênio						
Folha <sup>#</sup>	37,85	40,78	17,57	23,21	0,77*	1,310
Haste <sup>#</sup>	8,75	46,05	17,47	28,58	0,92*	0,304
Vagem + flor <sup>#</sup>	15,35	57,29	11,08	46,21	0,87*	0,839
Grãos <sup>&amp;</sup>	96,79	56,53	8,61	56,53	0,97*	2,800
Total <sup>&amp;</sup>	99,35	31,98	8,95	31,98	0,84*	2,772
Fósforo						
Folha <sup>#</sup>	1,48	35,85	21,14	14,70	0,68*	0,043
Haste <sup>#</sup>	0,42	44,02	20,11	23,91	0,67*	0,012
Vagem + flor <sup>#</sup>	1,52	59,75	11,52	48,23	0,95*	0,080
Grãos <sup>&amp;</sup>	15,89	58,74	5,28	58,74	0,99*	0,751
Total <sup>&amp;</sup>	32,68	71,12	15,73	71,12	0,99*	0,519
Potássio						
Folha <sup>#</sup>	29,41	48,26	24,96	23,30	0,72*	0,714
Haste <sup>#</sup>	14,82	51,49	22,23	29,27	0,80*	0,404
Vagem + flor <sup>#</sup>	39,78	70,00	15,11	54,89	0,99*	1,595
Grãos <sup>&amp;</sup>	152,57	66,47	7,86	66,47	0,99*	4,851
Total <sup>&amp;</sup>	127,05	36,56	11,63	36,56	0,84*	2,731

<sup>#</sup> Ajuste pelo modelo 2 - Sigmoidal; <sup>&</sup> Ajuste pelo modelo 1 - Gaussiano. \*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste

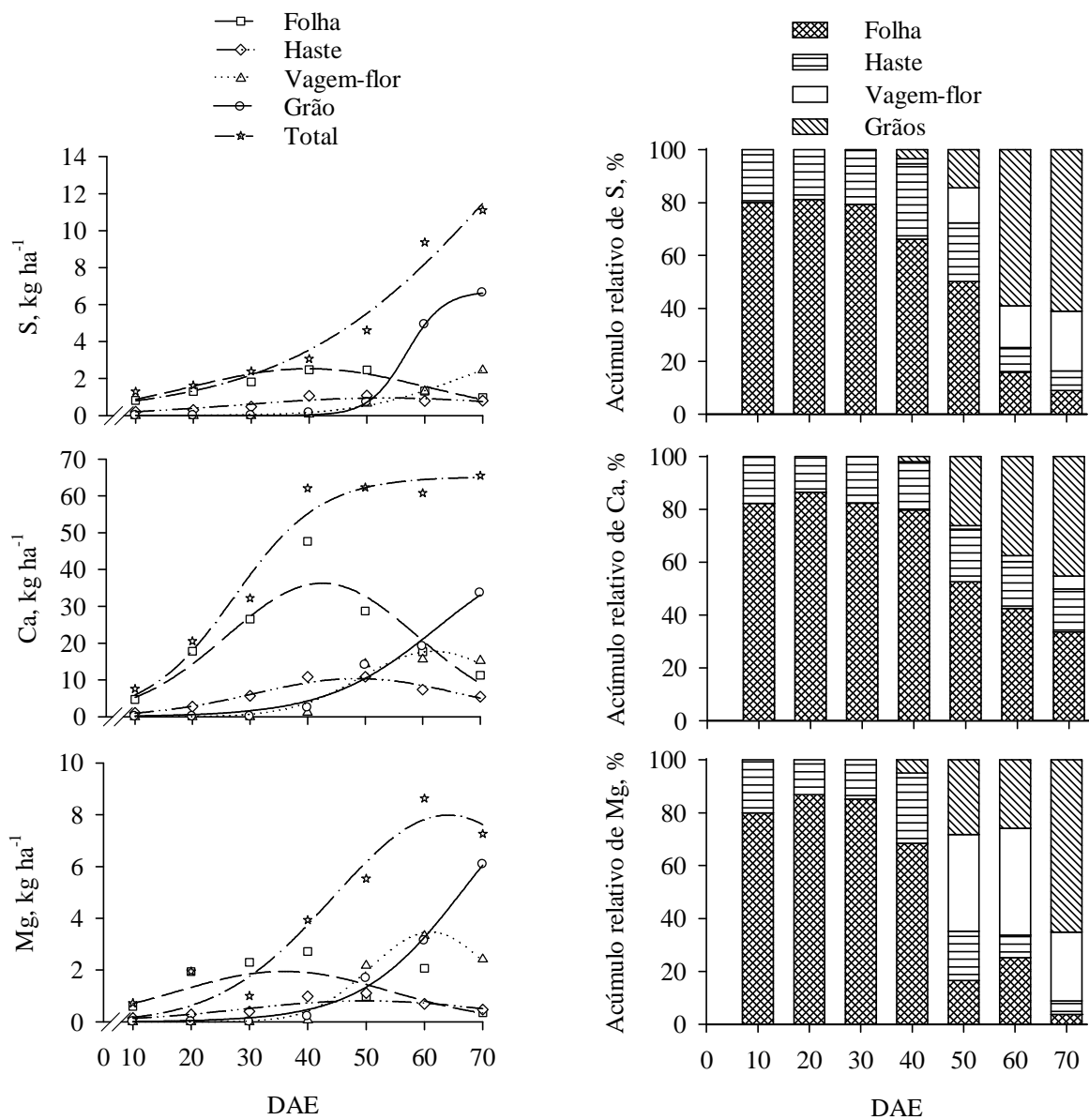
#### b) Acúmulo de Ca, Mg e S

As taxas de máxima de absorção de Ca, Mg e S nos órgãos vegetativos folhas e haste ocorre entre os 18 e 31 DAE, e nos órgãos reprodutivos vagem + flor e grãos foram observadas taxas de máximo acúmulo entre os 49 e 67 DAE (Tabela 4), indicando a relação direta existente entre os órgãos da planta quanto a sua atuação como fonte e/ou dreno de nutrientes, em especial para os nutrientes móveis na planta, onde inicialmente os órgãos vegetativos atuam como dreno de nutrientes e, posteriormente, fonte para órgãos reprodutivos.

As curvas de absorção de Ca, Mg e S seguiram ajuste não linear gaussiano para os componentes

da parte aérea: folha, haste e vagem + flor (Figura 4 e Tabela 4). Neste sentido, foram observados picos de máximo acúmulo de nutrientes durante o período de cultivo do feijoeiro, que ocorreram entre os 36 e 43 DAE para folhas, entre os 49 e 53 DAE para haste e entre os 61 e 65 DAE para os órgãos vagem + flor. No entanto, na absorção de Ca, Mg e S pelos grãos e, Ca e S pela parte aérea do feijoeiro foram ajustados modelos não lineares sigmoidal, indicando incremento no conteúdo destes nutrientes até o final do período de cultivo, conforme verificado anteriormente para N, P e K. Tais resultados corroboram com observações feitas por Vieira et al. (2009), que relataram máximo acúmulo de macronutrientes no final do ciclo de cultivo do feijoeiro, com exceção do Ca.





**Figura 4.** Acúmulo de S, Ca e Mg na parte aérea (total) e componentes (folha, haste, vagem + flor e grãos) no feijoeiro, cv. Pérola, no período de inverno e irrigado.

**Tabela 4.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado de regressão não linear e taxa de máximo acúmulo dos macronutrientes S, Ca e Mg na parte aérea (total) e componentes (folha, haste, vagem e flor e grãos) do feijoeiro.

Parte da planta	Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado			PI (DAE)	R <sup>2</sup>	Taxa de máxima absorção kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>
	a (kg ha <sup>-1</sup> )	X0 (DAE)	b (DAE)			
Enxofre						
Folha <sup>#</sup>	2,53	39,87	20,54	19,34	0,77*	0,075
Haste <sup>#</sup>	0,95	52,95	24,82	28,12	0,72*	0,023
Vagem + flor <sup>#</sup>	3,69	64,48	8,20	56,28	0,99*	0,272
Grãos <sup>&amp;</sup>	6,72	56,81	3,20	56,81	0,99*	0,522
Total <sup>&amp;</sup>	25,98	74,43	18,65	74,43	0,97*	0,348
Cálcio						
Folha <sup>#</sup>	36,26	42,50	16,50	26,00	0,89*	0,331
Haste <sup>#</sup>	10,37	48,55	17,80	30,75	0,97*	0,353
Vagem + flor <sup>#</sup>	17,77	61,86	12,48	49,38	0,94*	0,863
Grãos <sup>&amp;</sup>	48,07	62,38	9,11	62,38	0,98*	1,319
Total <sup>&amp;</sup>	65,23	27,27	7,50	27,27	0,97*	2,173
Magnésio						
Folha <sup>#</sup>	1,95	35,88	18,15	17,72	0,62*	0,065
Haste <sup>#</sup>	0,81	49,71	20,85	28,85	0,89*	0,024
Vagem + flor <sup>#</sup>	3,46	61,00	10,21	50,79	0,98*	0,205
Grãos <sup>&amp;</sup>	10,15	66,58	8,80	66,58	0,99*	0,288
Total <sup>#</sup>	7,97	64,00	19,53	44,47	0,93*	0,102

<sup>#</sup> Ajuste pelo modelo 2 - Sigmóidal; <sup>&</sup> Ajuste pelo modelo 1 - Gaussiano. \*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

#### c) Acúmulo total e exportação de macronutrientes

No final do ciclo de cultivo do feijoeiro, o acúmulo total de macronutrientes na parte aérea correspondeu em ordem decrescente a: 138 kg ha<sup>-1</sup> de K, 112 kg ha<sup>-1</sup> de N, 66 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, 16 kg ha<sup>-1</sup> de P, 11 kg ha<sup>-1</sup> de S e 7 kg ha<sup>-1</sup> de Mg (Figura 4 e Tabela 4). Esse resultado indicou que o K foi o nutriente mais requerido pelo feijoeiro, seguido pelo N, diferindo dos resultados publicados por Vieira et al. (2009), onde o acúmulo de macronutrientes no feijoeiro decresceu na seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > P > S. E, segundo Westermann et al. (2011), estudando 16 genótipos de feijão sob irrigação convencional em Idaho, nos Estados Unidos obtiveram absorção média de 148, 20 e 108 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente.

Dentre os componentes da planta, as folhas foram responsáveis pelo acúmulo relativo de, aproximadamente 80% dos macronutrientes absorvidos pela parte aérea do feijoeiro até os 30 DAE (Figuras 2 e 3). No entanto, a partir do início dos estádios reprodutivos a proporção de nutrientes nas folhas decresceu constantemente até o momento de maturação fisiológica, onde os grãos foram os responsáveis

pelo acúmulo majoritário de macronutrientes, mas com variações entre 35 e 90% do total acumulado, indicando a seguinte ordem decrescente de exportação de macronutrientes da área de cultivo via grãos: P>N>Mg>S>K>Ca. A porcentagem de P e N exportado da área de cultivo equivaleram a 90 e 75%, respectivamente do total absorvido pela parte aérea do feijoeiro, indicando a maior necessidade de reposição destes nutrientes via adubação em futuros sistemas de recomendação, especialmente em virtude da baixa disponibilidade destes nutrientes em solos de origem tropical. Elevadas taxas de exportação de nutrientes foram descritas por Fageria et al. (2007), onde 90% do P, 88% do N e 61% do K absorvidos pelo feijoeiro foram exportados pelos grãos da área de cultivo.

O conteúdo de macronutrientes exportado da área de cultivo pelos grãos correspondeu a 93 kg ha<sup>-1</sup> de K, 82 kg ha<sup>-1</sup> de N, 34 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, 14 kg ha<sup>-1</sup> de P, 7 kg ha<sup>-1</sup> de S e 6 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, para uma produtividade de 3.145 kg ha<sup>-1</sup>. Fageria et al. (2007) estudando o efeito da calagem e adubação com boro na produtividade e absorção de nutrientes pelo feijoeiro obtiveram acúmulos médios de nutrientes nos grãos de 124 kg ha<sup>-1</sup> de N, 64 kg ha<sup>-1</sup> de K, 15 kg ha<sup>-1</sup> de P, 9 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 6 kg ha<sup>-1</sup> de Mg para a produtivida-

de média de 3.409 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, durante três anos de cultivo. Para produção de uma tonelada de grãos da cv. Jalo EEP 558, cultivada sob sistema convencional no cerrado brasileiro, Albuquerque et al. (2011a) e Albuquerque et al. (2011b) obtiveram o acúmulo de 57,9 kg de N, 33,9 kg de K, 17,1 kg de Ca, 6,6 kg de P, 6,4 kg de Mg e 3,2 kg de S.

## CONCLUSÕES

A absorção de macronutrientes pela parte aérea da cultura do feijoeiro comum segue a ordem decrescente: K>N>Ca>P>S>Mg, e corresponde ao acumulado total, respectivamente, de 138, 112, 66, 16, 11 e 7 kg ha<sup>-1</sup>.

Os grãos são os componentes da planta com maior acúmulo de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro e a taxa de exportação de nutrientes pelos grãos decresce na seguinte ordem: P>N>Mg>S>K>Ca. A exportação de P, N, Mg é de 90, 75 e 65%, respectivamente, indicando a elevada taxa de exportação de nutrientes da área de cultivo.

A taxa de máximo acúmulo de macronutrientes nas folhas e haste do feijão situa-se entre 26 e 36 DAE (R5-R6) e nos órgãos reprodutivos vagem e grãos, situa-se entre os 46 e 66 DAE (estádios R7-R8).

Como resultado deste trabalho, e para uma utilização eficaz de fertilizantes, é recomendado que as práticas de adubação de cobertura com N e K possam ser realizadas entre os 12 e 30 DAE para o feijão irrigado, pois antecedem as fases de maior demanda nutricional.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. et al. Partitioning of dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium in bean genotypes. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 54, p. 176-177, 2011a.

ALBUQUERQUE, A. et al. Partitioning of dry matter, calcium, magnesium and sulfur in bean genotypes. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 54, p. 174-175, 2011b.

ANDRADE, C. A. B. et al. Produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, PR, v. 31, n.4, p. 683-688, 2009.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 1, cap.15, p. 873-928.

AUGOSTINHO, L. M. D. et al. Acúmulo de massa

seca e marcha de absorção de nutrientes em mudas de goiabeira 'Pedro Sato'. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 577-585, 2008.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 69-76, 2005.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003. 41 p.

BERTSCH, F. et al. Curvas de absorción de nutrientes en dos variedades, Bribri y Sacapobres, de Frijol Común de Grano Rojo. **Agronomía Costarricense**, San José, Costa Rica, v. 27, n. 2, p. 75-81. 2003.

BROUGHTON, W.J. et al. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 252, n. 1, p. 55-128, 2003.

CHAGAS, J. M. et al. Feijão. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V. H (Eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa: UFV, 1999. p. 306-307.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; ZOBEL, R. W. Yield, Nutrient Uptake, and Soil Chemical Properties as Influenced by Liming and Boron Application in Common Bean in a No-Tillage System. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. Philadelphia, USA, v. 38, n. 11-12, p. 1637-1653, 2007.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; STONE, L. F. Nutrição de fósforo na produção de feijoeiro. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato, 2004. Cap. 17, p. 435-455.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GOMES, A. A. et al. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1927-1937, 2000.

GOULART, M. M. P. et al. Crescimento vegetativo

de cultivares de feijoeiro submetido a dois níveis de luminosidades. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 3, p. 31- 39, 2010.

HAAG, H. P. et al. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 26, s/n, p. 381-391, 1967.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 29 maio 2013.

JAUER, A. et al. Análise de crescimento da cultivar de feijão Pérola em quatro densidades de semeadura. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia de Uruguaiana**, Uruguaiana, RS, v. 10, n. 1, p. 101- 113, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

NASCENTE, A. S. et al. Adubação de cultivares de feijoeiro comum em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 407-415, 2012.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003.

TEIXEIRA, C. M. et al. Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 497-506, 2010.

WESTERMANN, D. T. et al. Plant and seed nutrient uptake in common bean in seven organic and conventional production systems. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, Canada, v. 91, n. 6, p. 1089-1099, 2011.

VIEIRA, N. M. B. et al. Altura de planta e acúmulo de matéria seca do feijoeiro cvs. BRS MG Talismã e Ouro Negro em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1687-1693, 2008.

VIEIRA, N. M. B, et al. Accumulation of macronutrients by different common bean cultivars grown in different plant densities in no-tillage crop system. **Bean Improvement Cooperative. Annual Report**, v. 52, p.132-133, 2009.

ZUCARELI, C. et al. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 1, p. 5-15, 2006.