

Crescimento radicular e absorção de micronutrientes do feijoeiro em razão da calagem

Root growth and micronutrient uptake by common bean as affected by liming

Laerte Marques da SILVA¹, Leandro Borges LEMOS², Carlos Alexandre Costa CRUSCIOL³, Gustavo Pavan MATEUS⁴, José Carlos FELTRAN⁵

¹ Eng. Agr., Dr., Departamento de Produção Vegetal (DPV), Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Caixa Postal 237, CEP 18603-970, Botucatu - SP. E-mail: laertemarquesilva@hotmail.com

² Professor Assistente Doutor, Departamento de Produção Vegetal, UNESP-Câmpus de Jaboticabal. E-mail: leandrobl@fcav.unesp.br;

³ Professor Adjunto, DPV, FCA/UNESP. Bolsista CNPq. E-mail: crusciol@fca.unesp.br;

⁴ Polo Extremo Oeste/APTA, Caixa Postal 67, CEP 16900-000, Andradina - SP. E-mail: gpmateus@apta.sp.gov.br. Autor para correspondência.

⁵ Centro de Horticultura, Instituto Agrônomo-IAC/APTA – Caixa Postal 28, CEP 13001-970, Campinas - SP. E-mail: feltran@iac.sp.gov.br

Resumo

Apesar da intensa busca por informações sobre a resposta do desempenho produtivo do feijoeiro à aplicação de calcário, pouco se sabe a respeito do comportamento de cultivares quanto ao crescimento radicular e a absorção de micronutrientes. Assim, instalou-se um experimento em condições de casa de vegetação com o objetivo de avaliar a influência do comprimento radicular na absorção de micronutrientes por cultivares de feijão em razão da calagem. O experimento foi realizado em vasos com 13 dm³ de solo, em condições de casa de vegetação, até 43 dias após a emergência das plantas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, num esquema fatorial 4x4, sendo quatro níveis de calcário (0,0; 1,59; 3,18 e 4,48 t ha⁻¹) e quatro cultivares de feijão (Campeão 1, Carioca, FT-Bonito e Pérola), com quatro repetições. Na ausência de calagem, a cultivar Pérola apresenta maior capacidade de absorção de Cu, Fe e Zn. Com o aumento das doses de calcário, a cultivar Carioca apresenta maior acúmulo de Cu, Fe e Zn na parte aérea. A calagem promove aumento na absorção do Cu e Mn pelas raízes em todas as cultivares de feijão. Sob alta disponibilidade de micronutrientes, as cultivares de feijão reduzem a eficiência na produção de matéria seca por unidade de micronutriente absorvido.

Palavras-chave adicionais: *Phaseolus vulgaris*, cultivares, níveis de calcário, sistema radicular, micronutrientes.

Abstract

Despite the intense search for information about productive potential of common bean in response to soil liming, little is known concerning specific cultivar root system growth and micronutrients absorption. Therefore, a greenhouse study to evaluate the effect of root growth, as affected by soil liming, on micronutrients uptake by bean cultivars was carried out. The experimental design was completely randomized block, in 4x4 factorial scheme, with four levels of lime (0; 1.59; 3.18; and 4.48 t ha⁻¹) and four bean cultivars (Campeão 1, Carioca, FT-Bonito, and Pérola), and four replications. When lime was absent, Perola was the cultivar showing the highest Cu, Fe, and Zn absorption capacity. When lime was applied, Carioca was the cultivar displaying the highest concentrations of Cu, Fe, and Zn in the plant aerial part. Under conditions of high availability of micronutrients in the soil, the bean plants of all cultivars were found to reduce their efficiency in converting absorbed micronutrients in plant dry matter.

Additional keywords: *Phaseolus vulgaris*, cultivars, liming, root system, micronutrients.

Introdução

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em grande parte do território nacional, sendo uma das principais fontes de proteína para a população brasileira. Em nível

nacional, apresenta baixa produtividade de grãos, em torno de 700 kg ha⁻¹ (FERREIRA et al., 2002), porém, com potencial superior a 4.000 kg ha⁻¹ (CARBONELL et al., 2003). Dentre as várias causas para as baixas produtividades, destaca-se a exploração da cultura em áreas

marginais em termo de fertilidade natural do solo, muitas vezes com altos teores de Al e Mn tóxicos para as plantas. Portanto, somente serão obtidas altas produtividades se o solo estiver livre da toxicidade de Al, sendo esta conseguida através da calagem.

Sabe-se que, com a aplicação de calcário, ocorre elevação do pH e diminuição na disponibilidade dos micronutrientes, com exceção do Mo (MALAVOLTA, 1980). Outro fator que pode afetar a absorção dos micronutrientes, é a relação entre esses com Ca e Mg no solo, os quais podem diminuir ou aumentar a absorção através dos processos de antagonismo, de inibição competitiva, de inibição não competitiva e do sinergismo de alguns elementos, entre os quais B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

A utilização de maiores quantidades desses micronutrientes deve ser feita criteriosamente, pois deve haver equilíbrio nutricional de acordo com as necessidades da planta em razão do potencial produtivo. CLARK (1983) descreveu que as espécies e cultivares possuem diferentes necessidades em macro e micronutrientes, e que sua eficiência na absorção e utilização desses nutrientes é passível de ser melhorada geneticamente.

Entretanto, pouco é conhecido a respeito das diferenças entre cultivares de feijão quanto à absorção e utilização de micronutrientes. As diferenças entre cultivares quanto às necessidades de micronutrientes são subsídios importantes para as recomendações de fertilizantes e corretivos e para a adequação da cultura aos solos.

Com este trabalho, pretendeu-se avaliar o crescimento radicular e a absorção de micronutrientes em cultivares de feijão em razão da calagem.

Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada em área com as seguintes coordenadas geográficas: 22° 51' S, 48° 26' W e altitude de 740 m. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, disposto em arranjo fatorial 4x4, constituído por quatro cultivares de feijão do grupo comercial carioca (Campeão 1, Carioca, FT-Bonito e Pérola) e quatro doses de calcário (0; 1,59; 3,18 e 4,48 t ha⁻¹). As doses de calcário foram aplicadas com a finalidade de elevar a saturação por bases (V%) para 3; 18; 33 e 45%, respectivamente.

O solo utilizado foi proveniente da camada arável (0-20cm) de um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999), com 680; 150 e 170 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectiva-

mente, e cujas características químicas, determinadas conforme RAIJ et al. (2001), são apresentadas na Tabela 1.

A terra coletada no campo foi peneirada em malha de 4 mm, secada ao ar e uma amostra de 13 dm³ foi colocada em cada saco plástico. A calagem constou da mistura de solo e calcário dolomítico com PRNT = 91%. A seguir, aplicaram-se 100 mg dm⁻³ de P e K na forma de fosfato monoamônico e cloreto de potássio, respectivamente. As doses de calcário e dos fertilizantes foram misturadas ao solo dos sacos plásticos e transferidas para os vasos. A seguir, adicionou-se água em cada vaso, equivalente a 80% da água disponível total (ADT). O período de incubação foi de 30 dias, após o qual foi coletada uma amostra composta do solo de cada tratamento para análise química (RAIJ et al., 2001), cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Por ocasião da semeadura, aplicaram-se 3 mg dm⁻³ de Zn (sulfato de zinco), 0,2 mg dm⁻³ de Mn (sulfato manganoso) e 50 mg dm⁻³ de N (uréia). Na semeadura, foram utilizadas seis sementes por vaso. Com as sementes, aplicou-se o fungicida Thiram (150 mL por 100 kg de sementes), visando ao controle preventivo da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e podridão-radicular (*Rhizoctonia solani*). Uma semana após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se três plantas por vaso. Aos 25 dias após a emergência (DAE), aplicaram-se em cobertura 100 mg dm⁻³ de N (ureia) em cada vaso.

O controle fitossanitário foi realizado mediante duas pulverizações, aos 27 DAE com inseticida Triazophós (0,9 L ha⁻¹) para o controle da mosca-minadora (*Liriomyza* sp) e do ácaro-branco (*Polyphagotarsonemus latus*), e aos 33 DAE com fungicida óxido cuproso (1,10 kg ha⁻¹) para o controle do oídio (*Erysiphe polygoni*).

A necessidade de irrigação foi determinada mediante pesagem diária de quatro vasos para cada dose de calcário, colocando-se água em quantidade suficiente para elevar a umidade a 100% da ADT sempre que o nível atingisse 80% da ADT. O rodízio dos vasos foi realizado semanalmente.

Aos 43 DAE, quando a maioria das plantas se encontrava no estágio fenológico de floração (R6), as plantas foram seccionadas na altura do colo, e a parte aérea, lavada e secada em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C, até massa constante, visando a obter a massa da matéria seca da parte aérea. O solo foi retirado dos vasos, e as raízes foram separadas por lavagem em água corrente sobre peneira de malha de 0,5 mm. Foi tomada, no sentido longitudinal, uma subamostra das raízes (aproxima-

damente 1/8 do total), a qual foi colocada em frasco com álcool a 50% e armazenada sob refrigeração. O restante das raízes foi seco em estufa com ventilação forçada a 70 °C até massa constante, de forma a se definir a massa da matéria seca. As amostras acondicionadas em álcool foram utilizadas na determinação do comprimento radicular por meio da digitalização de imagem, utilizando scanner HP Scanjet 4c/T e

o software WinRHIZO Reg. 3.8b (Regent Instruments Inc.). Após essas determinações, as amostras foram secas em estufa até massa constante e pesadas, sendo obtida a massa da matéria seca das raízes. Posteriormente, as amostras das raízes e da parte aérea foram moídas para que fossem determinados os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo metodologia descrita por MALAVOLTA et al. (1997).

Tabela 1 - Atributos químicos do solo, antes e 30 dias após a calagem.

Table 1 - Soil chemical attributes before and 30 days after liming.

Análises/Analysys	Antes da calagem/ Before liming	----- Calagem/Liming (t ha ⁻¹)-----			
		0	1,59	3,18	4,48
MO (g kg ⁻¹)	22	- ⁽¹⁾	-	-	-
pH (CaCl ₂)	4,0	4,0	4,3	4,9	5,1
P _{resina} (g dm ⁻³)	2	114	108	108	109
K (mmol _c dm ⁻³)	0,5	3,6	3,4	3,1	3,5
Ca (mmol _c dm ⁻³)	2,0	5	12	21	25
Mg (mmol _c dm ⁻³)	0,2	0,8	3,2	6,6	8,0
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	97	87	68	53	45
SB (mmol _c dm ⁻³)	2,7	9	18	31	36
CTC (mmol _c dm ⁻³)	99,7	96	86	84	81
V (%)	3	10	21	36	44
Al (mmol _c dm ⁻³)	29	24	18	13	11
m (%)	30	25	20	15	13
Cu (mg dm ⁻³)	0,5	2,7	1,9	2,3	2,3
Zn (mg dm ⁻³)	0,6	1,4	1,2	1,1	1,1
Fe (mg dm ⁻³)	22	43	39	36	32
Mn (mg dm ⁻³)	0,4	1,3	0,9	0,5	0,5

⁽¹⁾ Não determinado.

⁽¹⁾ Not determined.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

De posse dos dados de produção de matéria seca das raízes e da parte aérea, e dos teores de nutrientes, determinou-se a quantidade acumulada dos micronutrientes nas raízes e na parte aérea, por meio da multiplicação dos teores pela produção de matéria seca das raízes e da parte aérea, respectivamente. De posse dos teores acumulados na parte aérea, calcularam-se as quantidades absorvidas de micronutrientes por metro de raiz, por meio da relação quantidade acumulada de micronutriente na parte aérea pelo comprimento radicular.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as medias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Quanto às doses de calcário e para o desdobramento da interação doses de calcário dentro de cultivares, adotou-se análise de regressão, e a equação mais adequada foi determinada, primeiramente, pelo efeito significativo e, posteriormente, pelo maior valor do coeficiente de determinação (R²).

Resultados e discussão

O aumento das doses de calcário proporcionou elevação do pH, Ca e Mg trocáveis e redução nos teores de Al trocável e H + Al, evidenciando o efeito positivo dessa prática (Tabela 1). Resultados semelhantes foram observados por ROSOLEM et al. (1998), ROSOLEM et al. (2000) e SILVA et al. (2004).

Houve efeito significativo de cultivares para matéria seca radicular, da calagem para todas as variáveis, e da interação entre os fatores para comprimento e matéria seca radicular (Tabela 2). A FT-Bonito apresentou o maior valor para matéria seca radicular, diferindo das cultivares Campeão 1, Carioca e Pérola (Tabela 2).

Tabela 2 - Comprimento radicular, matéria seca do sistema radicular e matéria seca da parte aérea, no período de florescimento (R^6) de cultivares (C) de feijão, em razão das doses de calcário (DC)⁽¹⁾.
Table 2 - Root length, dry matter of the root system and shoot, at the R^6 flowering stage of bean cultivars, as a function of liming.

Cultivares/Cultivars	-----Sistema radicular/Root system-----		Parte aérea/Shoot
	- Comprimento/Lenght -	----- Massa seca/Dry matter -----	
	----- m/planta-----	----- g/planta -----	
Campeão 1	127,1 a	1,2 b	3,2 a
Carioca	111,9 a	1,2 b	3,4 a
FT-Bonito	127,8 a	1,7 a	3,3 a
Pérola	109,1 a	1,1 b	3,1 a
C	2,12	6,05**	1,19 ^{ns}
DC	114,6**	72,0**	299,1**
C X DC	4,4**	2,3*	1,91 ^{ns}
CV%	23,77	29,12	14,87

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo. * e **Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

⁽¹⁾ Means in the same column, followed by the same letter, are not significantly different according to the Tukey test at the 5% level of probability; ^{ns} Non-significant. * and ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, by the F test. The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Quanto ao comprimento radicular, as cultivares apresentaram resposta positiva e quadrática aos níveis de calcário, exceto a cultivar FT-Bonito, que respondeu linearmente (Figura 1a). Na ausência da calagem, os maiores valores de comprimento radicular foram obtidos pelas cultivares Carioca (23,3 m) e Pérola (20,5 m), e o menor valor foi registrado na FT-Bonito (5,6 m).

A resposta positiva do crescimento radicular ao aumento dos teores de Ca e Mg, na solução do solo (Tabela 1), está relacionada à síntese da parede celular, uma vez que estes nutrientes participam da formação dos compostos de pectatos de Ca e Mg (MALAVOLTA, 1980), além da redução no teor de alumínio. Esses resultados corroboram os de ROSOLEM (1989), que determinou como nível crítico para o crescimento radicular do milho o teor de 5 mmol_c dm⁻³ de cálcio. Apesar de que não foram encontrados trabalhos que correlacionassem o crescimento das raízes do feijoeiro com o teor de Ca do solo, vários autores verificaram efeito benéfico da calagem no crescimento radicular do feijoeiro (FAGERIA & STONE, 1999; SILVA et al., 2004), da soja (ROSOLEM & MARCELLO, 1998), do milho (ROSOLEM et al., 1994) e do algodão (ROSOLEM et al., 2000).

A calagem proporcionou aumentos significativos, e de forma quadrática, para as variáveis matéria seca radicular e matéria seca da parte aérea (Figuras 1b;c), atingindo os maiores valores, com aproximadamente 3,0 t ha⁻¹. Os resultados obtidos para matéria seca da parte aérea corroboram os de SILVA et al. (2004). Com o aumento dos níveis de calcário, a maior produção de matéria seca radicular foi verificada na cultivar FT-Bonito. A produção de matéria seca radicular aumentou em todas as cultivares, apresentando o máximo valor em torno da saturação por bases de 43%. Esses resultados confirmam as observações de VALE (1994) e SILVA et al. (2004), que notaram estabilidade no crescimento do sistema radicular do feijoeiro, quando a saturação por bases encontrava-se entre 40 a 46%.

O aumento nas matérias secas radicular e da parte aérea, decorrente da calagem, está diretamente relacionado com o crescimento radicular, uma vez que, com o maior desenvolvimento de raízes, provavelmente, ocorreu incremento na absorção de nutrientes (Figuras 1a;b;c).

Quanto aos teores de micronutrientes no sistema radicular e na parte aérea, constatou-se que houve efeito significativo da calagem e da interação em todas as variáveis estudadas para cultivares (Tabela 3).

Tabela 3 - Teores de micronutrientes nas raízes e parte aérea, no período de florescimento (R⁶) de cultivares (C) de feijão, em razão das doses de calcário (DC)⁽¹⁾.

Table 3 - Levels of micronutrient in the roots and shoot, at the R⁶ flowering stage of bean cultivars, as a function of liming.

Cultivares/Cultivars	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- Raiz/Root (mg kg ⁻¹) -----				
Campeão 1	6,3b	14,3c	2136a	49,2a	96,7ab
Carioca	8,2a	18,2b	1613b	40,8b	62,6c
FT-Bonito	6,5b	15,5c	2303a	43,8b	86, 7b
Pérola	6,9b	21,1a	2369a	51,6a	99,6a
C	22,7**	41,1**	20,2**	16,1**	36,1**
DC	314,7**	21,4**	23,7**	22,5**	1511,4**
C X DC	28,15**	37,23**	2,9**	5,8**	40,6**
CV%	9,90	10,85	14,47	10,51	12,93
----- Parte aérea/Shoot (mg kg ⁻¹) -----					
Campeão 1	9,2c	361a	856c	81,2a	83,8ab
Carioca	9,4c	318b	1416a	62,7b	65,5b
FT-Bonito	20,4a	319b	401d	57,1c	95,8a
Pérola	18,9b	334ab	1173b	65,7b	76,1ab
C	366,6**	5,3**	71,8**	61,0**	4,5**
DC	534,1**	80,7**	215,5**	35,3**	336,1**
C X DC	40,7**	18,4**	21,7**	7,6**	5,7**
CV%	8,64	10,39	21,50	7,94	29,89

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, ^{ns}Não significativo. * e **Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, teste F.

⁽¹⁾ Means in the same column, followed by the same letter, are not significantly different by the Tukey test at 5% probability level; ^{ns} Non-significant. * and ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, at F test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Analisando a eficiência de absorção de micronutrientes pelo sistema radicular e de transporte dos mesmos para a parte aérea (Tabela 4), constatou-se que a cultivar Carioca apresentou maior eficiência de absorção de B, sendo a Pérola a mais eficiente no transporte do mesmo da raiz para a parte aérea. Quanto ao Cu, verificou-se que a Pérola apresentou maior eficiência de absorção, e junto com a Campeão 1 demonstraram maior eficiência de transporte deste elemento para a parte aérea. Já quanto ao Fe, constata-se que as cultivares Pérola, FT-Bonito e Campeão 1 apresentaram os maiores teores do elemento na raiz. No entanto, a Carioca demonstrou maior eficiência no transporte de Fe para a parte aérea em comparação às demais cultivares. Para o Mn, a Pérola e a Campeão 1 denotaram maior eficiência na absorção e no transporte desse micronutriente para a parte aérea, e quanto ao Zn, a cultivar Carioca demonstrou ser a menos eficiente na absorção e no transporte em comparação com as demais cultivares.

No sistema radicular e na parte aérea (Figuras 2a e 4a), os teores de B reduziram-se em ambas as partes da planta com o aumento das doses de calcário. Para SU et al. (1994), a redução no teor de B está diretamente relacionada com o aumento do pH, que consequentemente incrementou a adsorção do B, diminu-

indo, com isso, a sua disponibilidade para as plantas.

A aplicação de calcário reduziu os teores de Cu e Fe (Figuras 2b;c e 4b;c) tanto na raiz quanto na parte aérea, exceto para a Campeão 1, que aumentou de forma quadrática o teor de Cu na raiz até a dose de 2,4 t ha⁻¹. Segundo MALAVOLTA (1980), o Ca e o Cu apresentam efeito antagônico, ou seja, a presença de um elemento diminui a absorção do outro, cuja toxicidade pode ser evitada, uma vez que o Ca impede a absorção exagerada de Cu. Com o aumento do pH, em consequência do incremento das doses de calcário, pode ter havido insolubilização do Fe, diminuindo assim a disponibilidade para as plantas, sendo que este resultado pode ser confirmado na análise de solo do presente trabalho (Tabela 1). Outra hipótese seria o efeito diluição, ou seja, a taxa de absorção de Cu e Fe pelas cultivares não acompanhou proporcionalmente a velocidade de acúmulo de matéria seca (Figuras 1b;c), o que acarretou menor concentração desses micronutrientes.

A calagem reduziu os teores de Mn nas cultivares Campeão1 e Carioca, tanto no sistema radicular, quanto na parte aérea, sendo o inverso observado para a FT-Bonito, que foi a única responsiva (Figuras 3a e 5a). Esse comportamento das cultivares permite inferir que a FT-Bonito, provavelmente, apresenta melhor equilíbrio entre absorção e transporte de Mn, conco-

mitantemente ao crescimento, ou seja, ao maior acúmulo de matéria seca (Figuras 1a;b;c), uma vez que não houve efeito de diluição dos teores de Mn com a calagem. O aumento do pH pode ter inibido a absorção do Mn, dada a diminuição na concentração hidrogeniônica, favorecendo, com isso, a conversão do Mn trocável em forma

insolúvel, como o Mn^{3+} e Mn^{4+} (MALAVOLTA et al., 1997). Segundo PENDIAS & PENDIAS (1984), o Ca, o Mg e o Mn apresentam valência, raio iônico e grau de hidratação semelhantes, ou seja, o aumento da concentração de um inibe a absorção do outro.

Tabela 4 - Quantidade acumulada de micronutrientes nas raízes, parte aérea e quantidade absorvida de micronutrientes por metro de raiz, no período de florescimento (R^6) de cultivares (C) de feijão, em razão das doses de calcário (DC)⁽¹⁾.

Table 4 - Micronutrients in the root and shoot ($\mu g\ plant^{-1}$) and micronutrients per meter of root ($mg\ m^{-1}$) of bean plants at R^6 flowering stage as a function of liming.

Cultivares/Cultivars	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- Raiz/Root ($\mu g\ planta^{-1}$) -----					
Campeão 1	5,8c	19,2b	2535ab	56,8ab	43,9b
Carioca	7,8b	20,8ab	1748b	42,4c	44,1b
FT-Bonito	9,8a	24,7a	3358a	69,8a	71,5a
Pérola	5,6c	18,7b	2487ab	53,5bc	52,8b
C	23,6**	4,2**	7,6**	10,7**	22,4**
DC	66,5**	66,21**	27,78**	72,7**	9,6**
C X DC	8,5**	2,5*	1,9 ^{ns}	1,4 ^{ns}	17,1**
CV%	22,3	25,24	37,68	24,75	20,63
----- Parte aérea/Shoot ($\mu g\ planta^{-1}$) -----					
Campeão 1	24,0b	971b	1355bc	246,4a	81,2ab
Carioca	23,5b	1131a	3876a	200,4 b	95,6 a
FT-Bonito	47,7a	912b	1063c	198,3 b	76,0 b
Pérola	46,1a	848b	1600b	181,3 b	76,0 b
C	128,6**	9,1**	93,34**	9,6**	4,3**
DC	334,7**	229,6**	97,8**	210,6**	58,1**
C X DC	18,4**	3,9**	13,0**	2,6**	2,39*
CV%	13,34	16,71	27,00	17,41	21,57
--Absorção por metro de raiz/Uptake quantity for meter of root ($mg\ m^{-1}$) --					
Campeão 1	0,21c	8,5ab	18,5b	1,9a	1,7a
Carioca	0,27bc	10,7a	45,2a	2,1a	1,7a
FT-Bonito	0,41a	7,1b	8,7b	1,4a	1,4a
Pérola	0,38ab	6,9b	16,5b	1,4a	0,8a
C	8,3**	3,7*	10,1**	3,2 ^{ns}	1,6 ^{ns}
DC	2,8*	2,6 ^{ns}	5,1**	6,1**	21,3**
C X DC	2,6*	2,4*	1,7 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,5 ^{ns}
CV%	39,96	43,92	52,35	43,61	42,35

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, ^{ns}Não significativo. * e **Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, teste F.

⁽²⁾ Means in the same column, followed by the same letter, are not significantly different by the Tukey test at 5% probability level; ^{ns} Non-significant. * and ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, at F test..

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Os teores de Zn, tanto no sistema radicular quanto na parte aérea, foram reduzidos com o incremento das doses de calcário (Figuras 3b e 5b). O efeito da calagem em diminuir a disponibilidade do Zn nos solos, e a sua absorção pelas plantas são bastante conhecidos na literatura (BARBOSA FILHO et al., 1994; BARBOSA FILHO & SILVA, 2000). De maneira geral, a redução na concentração verificada nas raízes e na parte aérea das cultivares foi decorrente do aumento do pH e dos teores de Ca, e, principalmente, de Mg, que apresenta efeito competitivo com o Zn no solo (MALAVOTA, 1980). Estes resultados corroboram os obtidos por BARBOSA FILHO & SILVA (2000).

As concentrações de zinco em raízes variam de 60,0 a 185,0 $mg\ kg^{-1}$ (OLIVEIRA & THUNG, 1988), sendo que, no presente trabalho, a aplicação de calcário promoveu redução, acarretando teores abaixo dos supracitados.

Com o aumento das doses de calcário, o Zn foi o elemento mais afetado com relação à sua disponibilidade, em todas as cultivares, uma vez que o teor na parte aérea reduziu, em média, 88%. Em seguida, vieram o Fe (81%), o B (59%), o Cu (32%) e o Mn (24%), quando comparados na ausência e na presença de 4,48 $t\ ha^{-1}$. Resultados semelhantes foram obtidos por MOREIRA et al. (2000).

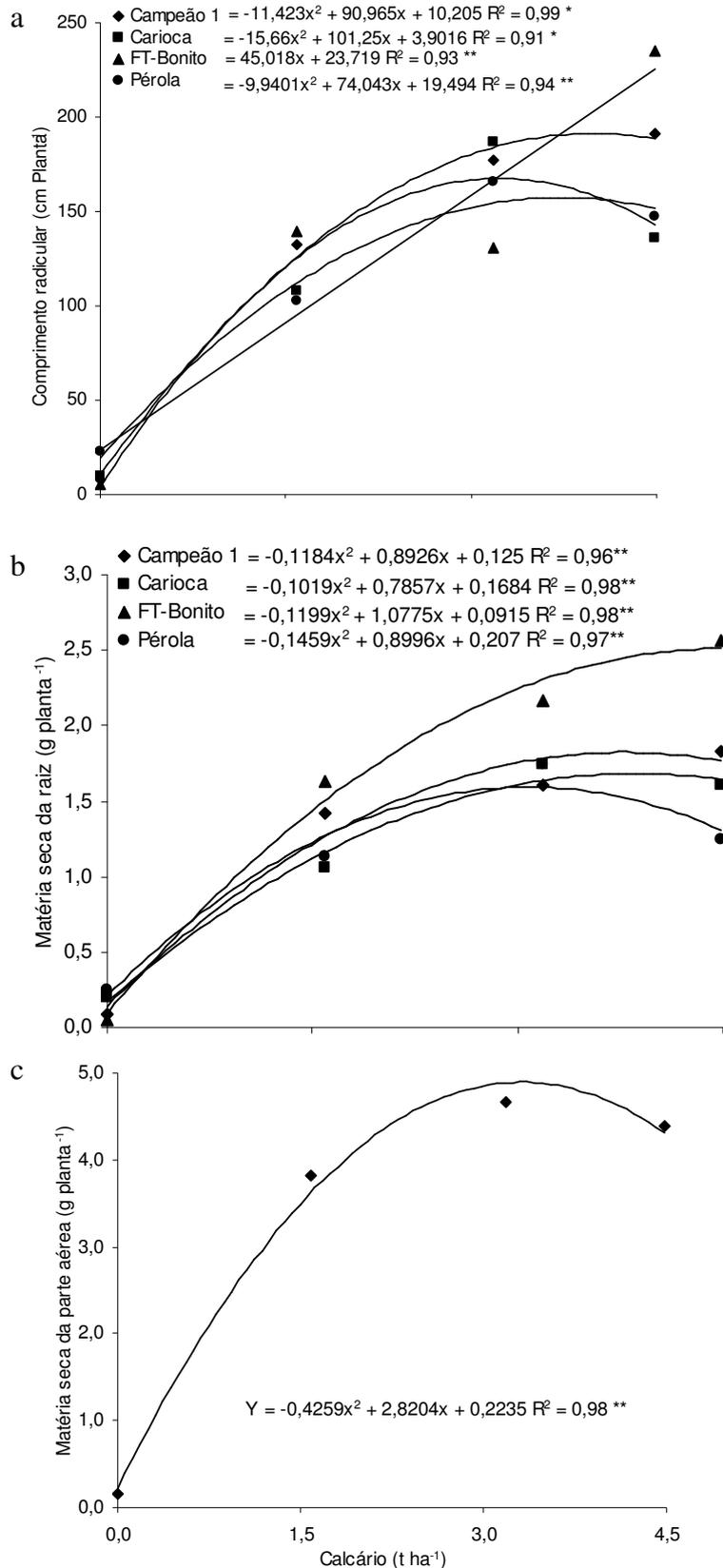


Figura 1 - Comprimento radicular (a), matéria seca do sistema radicular (b) e matéria seca da parte aérea (c) de cultivares de feijão, em função das doses de calcário.
Figure 1 - Root length (a), dry matter of the root system (b), and dry matter of the aerial part (c) of bean cultivars as a function of liming.

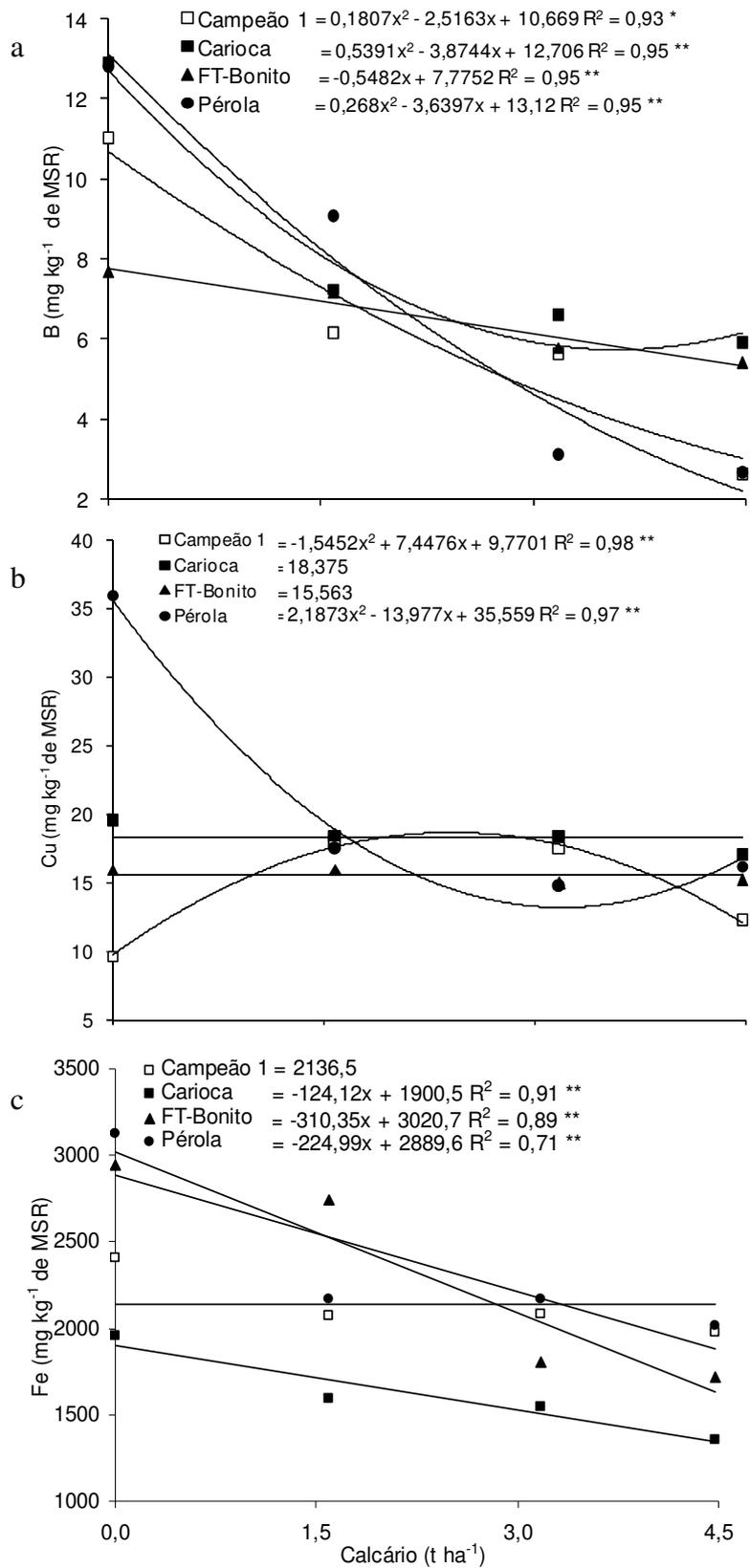


Figura 2 - Teores de B (a), Cu (b) e Fe (c) na matéria seca das raízes de cultivares de feijão, em razão das doses de calcário.

Figure 2 - Root dry matter levels of B (a), Cu (b) and Fe (c) in bean plants as a function of liming.

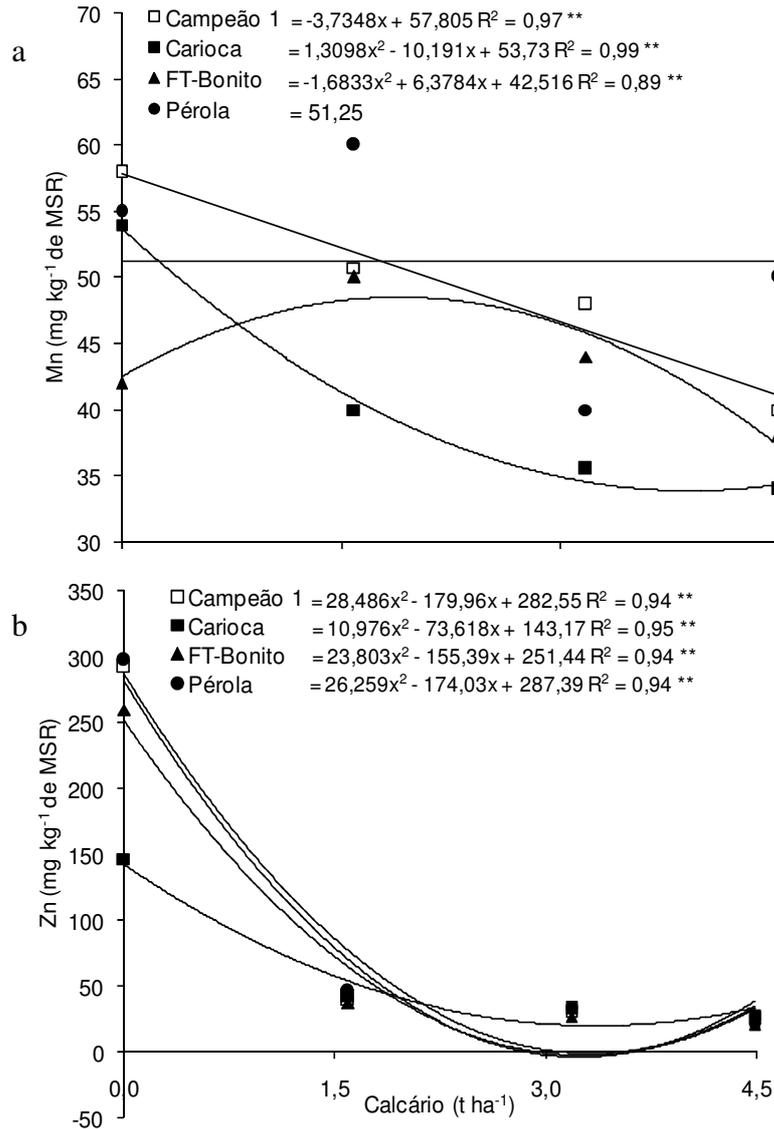


Figura 3 - Teores de Mn (a) e Zn (b) na matéria seca das raízes de cultivares de feijão, em razão das doses de calcário.

Figure 3 - Root and dry matter levels of Mn (a), and Zn (b) in bean plants as a function of liming.

No tocante às quantidades de micronutrientes acumuladas na matéria seca das raízes e da parte aérea, constatou-se efeito significativo para cultivares, dose de calcário e da interação entre os fatores, exceto para o Fe e o Mn nas raízes (Figuras 6c, 7a, 8c e 9a). A FT-Bonito apresentou as maiores quantidades de B e Zn acumuladas na raiz, e também para o Cu diferindo da Campeão 1 e Pérola, sobressaindo-se também quanto ao Fe e o Mn. Esse comportamento está diretamente relacionado com a produção de matéria seca radicular constatada nessa cultivar (Tabela 1). Na parte aérea, as cultivares FT-Bonito e Pérola denotaram os maiores acúmulos de B, e na Carioca para o Cu e o Fe decorrente do teor desses elementos na

mesma (Tabela 4), uma vez que não houve diferença na produção da matéria seca (Figura 1c). Ainda quanto ao acúmulo do Zn na parte aérea, a Carioca apresentou o maior valor, diferindo da FT-Bonito e da Pérola.

Com relação à quantidade acumulada de B no sistema radicular e na parte aérea, as cultivares apresentaram resposta positiva quadrática às doses de calcário (Figuras 6a e 8a), sendo esses resultados diretamente relacionados com o aumento da matéria seca do sistema radicular e da parte aérea (Figuras 1b;c). Verifica-se ainda que a cultivar FT-Bonito apresentou o maior acúmulo de B nas raízes e na parte aérea com o aumento das doses de calcário até 3,3 e 2,8 t ha⁻¹, respectivamente.

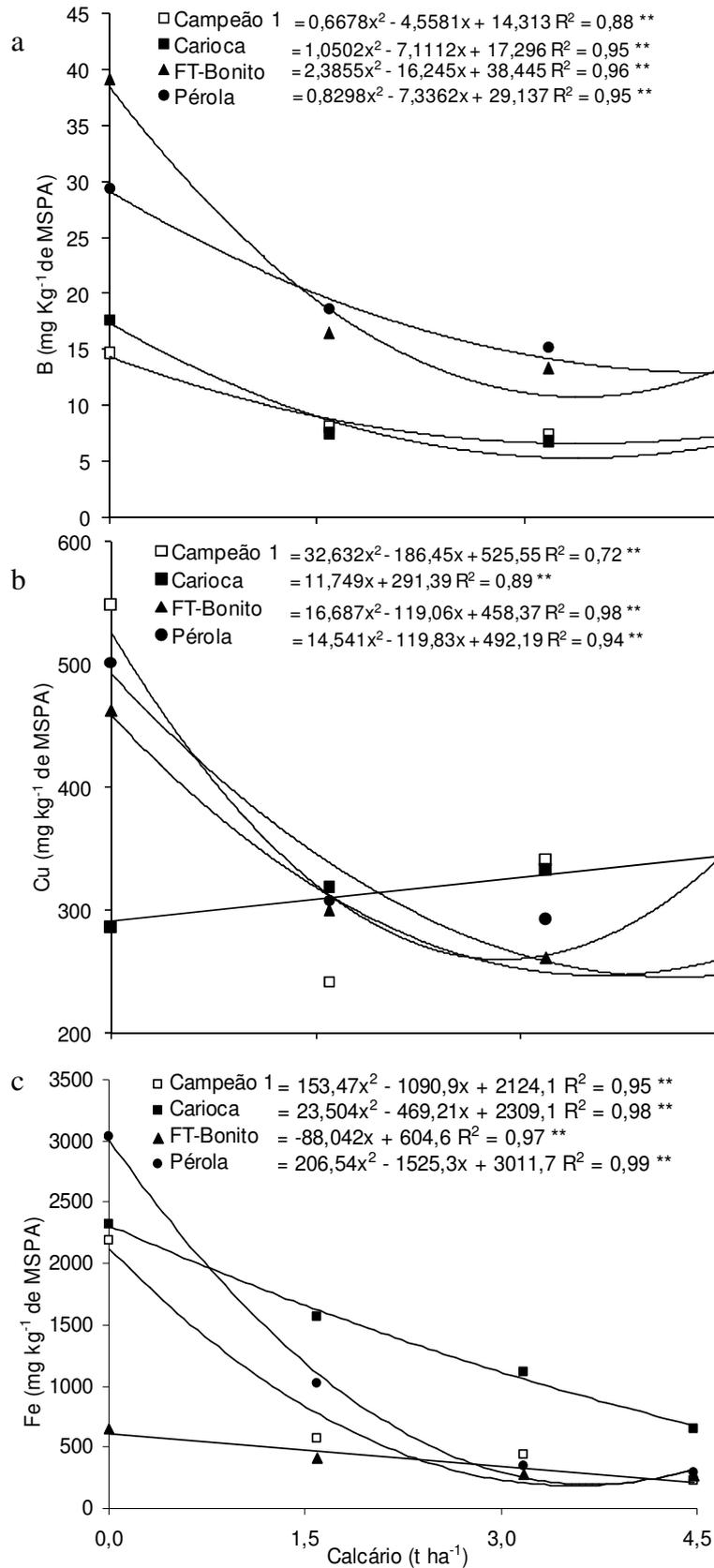


Figura 4 - Teores de B (a), Cu (b) e Fe (c) na matéria seca da parte aérea de cultivares de feijão, em razão das doses de calcário.

Figure 4 - Shoot dry matter levels of B (a), Cu (b) and Fe (c) in bean plants as a function of liming.

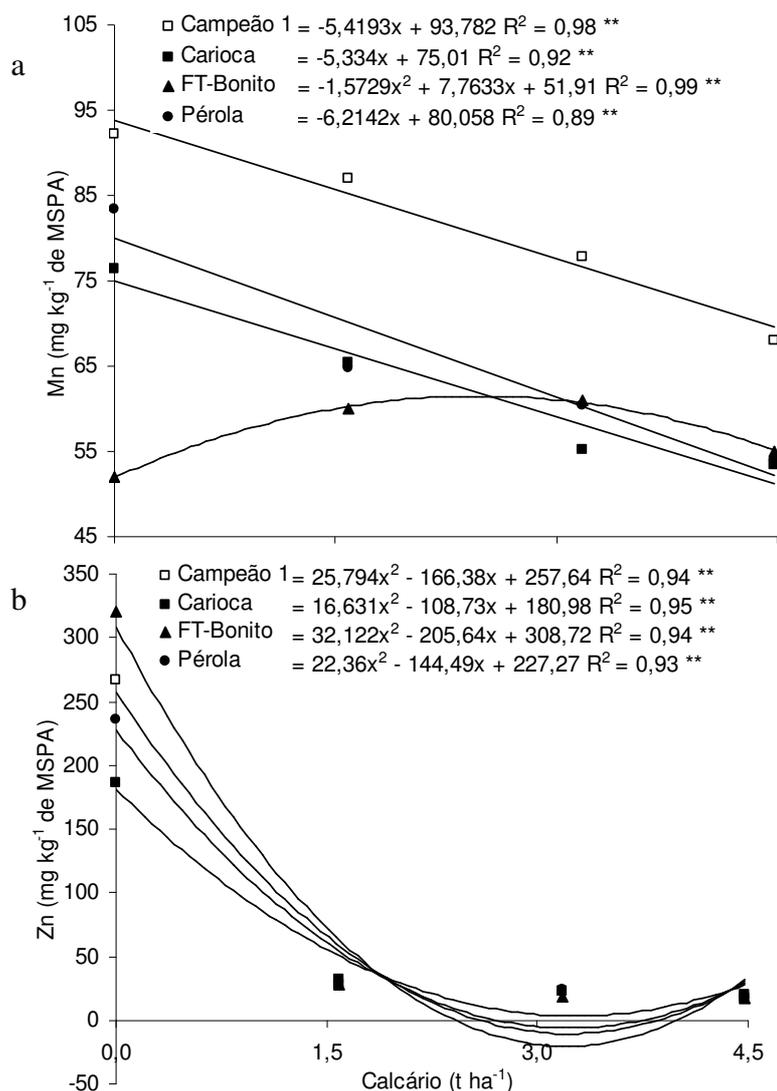


Figura 5 - Teores de Mn (a) e Zn (b) na matéria seca da parte aérea de cultivares de feijão, em razão das doses de calcário.

Figure 5 - Root and shoot dry matter levels of Mn (a) and Zn (b) in bean plants as a function of liming.

Para a quantidade acumulada de Cu no sistema radicular, as cultivares denotaram resposta negativa e quadrática, exceto a Carioca, que respondeu de forma positiva e linear às doses de calcário (Figura 6b). Na parte aérea, a quantidade acumulada de Cu aumentou com o aumento das doses de calcário (Figura 8b). A cultivar FT-Bonito obteve o maior acúmulo de Cu nas raízes com o aumento das doses de calcário, enquanto na parte aérea os maiores valores foram verificados na Carioca, respondendo até $3,3 \text{ t ha}^{-1}$.

As quantidades acumuladas de Fe e Mn (Figuras 6c e 7a) no sistema radicular não foram afetadas pela interação entre os fatores, observando-se, assim, efeito significativo para doses de calcário, que incrementou de forma quadrática até a dose aproximada de $3,1 \text{ t ha}^{-1}$ as quantidades

acumuladas desses micronutrientes. Na parte aérea, as cultivares apresentaram resposta positiva quadrática às doses de calcário (Figuras 8c e 9a). Nota-se, ainda, que as cultivares Carioca e Campeão 1 apresentaram os maiores acúmulos de Fe e de Mn na parte aérea, respectivamente, com o aumento das doses de calcário.

Com relação à quantidade acumulada de Zn nas raízes e na parte aérea, as cultivares apresentaram resposta positiva e quadrática às doses de calcário, exceto na Pérola e FT-Bonito em que ocorreu decréscimo de forma linear e quadrática, respectivamente, na raiz (Figuras 7b e 9b), sendo que esses resultados estão diretamente relacionados com o aumento da matéria seca das raízes e da parte aérea (Figuras 1b;c).

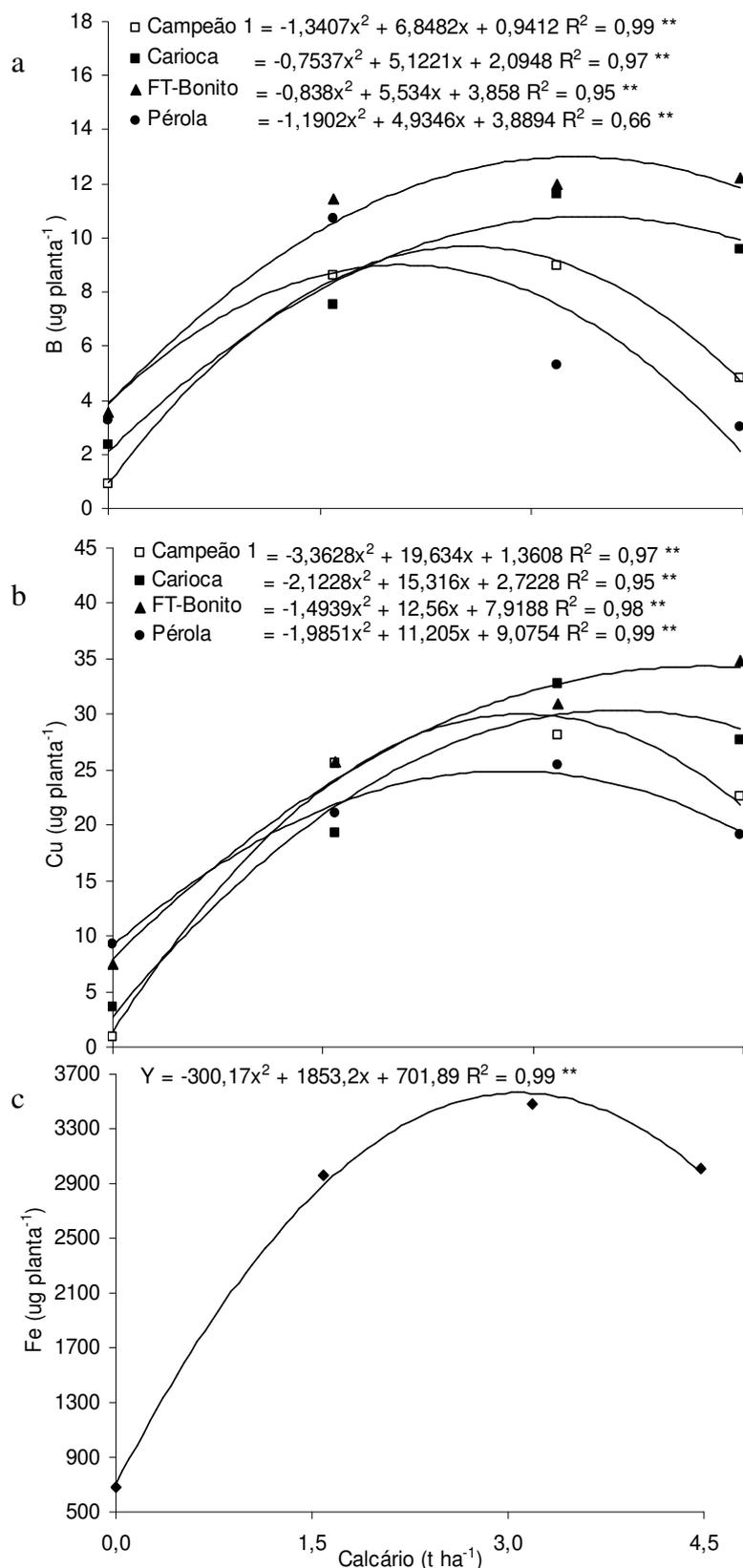


Figura 6 - Quantidade acumulada de B (a), Cu (b) e Fe (c) no sistema radicular das cultivares de feijão, em razão dos níveis de calcário.
Figure 6 - Levels of B (a), Cu (b) and Fe (c) in the root system of bean cultivars as a function of liming.

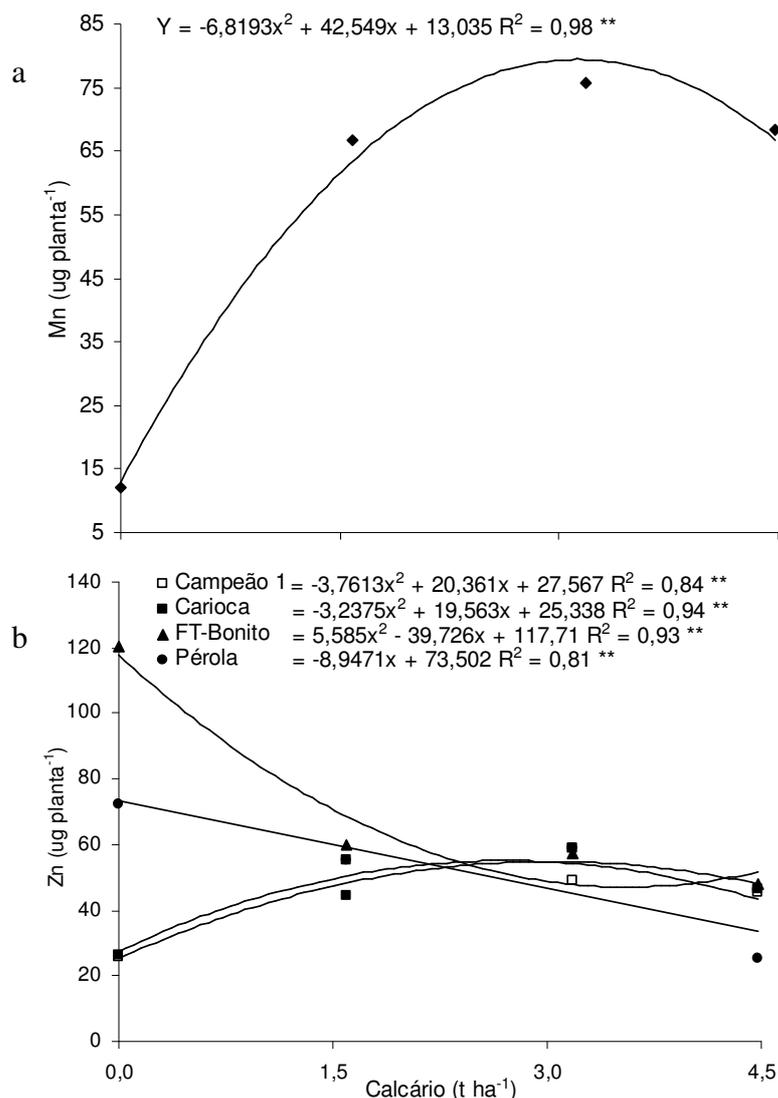


Figura 7 - Quantidade acumulada de Mn (a) e Zn (b) no sistema radicular das cultivares de feijão, em razão dos níveis de calcário.

Figure 7 - Levels of Mn (a) and Zn (b) in the root system of bean cultivars as a function of liming.

Verifica-se ainda que a cultivar Carioca apresentou o maior acúmulo de Zn na parte aérea com o aumento das doses de calcário até $2,5 \text{ t ha}^{-1}$. Estes resultados estão diretamente relacionados com o aumento das doses de calcário, que proporcionou incremento no comprimento radicular, na matéria seca das raízes e da parte aérea (Figura 1a).

A cultivar FT-Bonito apresentou os maiores acúmulos de B no sistema radicular, sendo os menores valores observados na Pérola, juntamente com o Cu, em razão dos aumentos das doses de calcário (Figura 6a;b). Na parte aérea, a cultivar Carioca apresentou os maiores acúmulos de Cu, Fe e Zn (Figuras 8b;c e 9b), com o aumento das doses de calcário, sendo os menores valores para a Pérola. Este comportamento das cultivares está diretamente

relacionado ao aumento do comprimento radicular e aos incrementos das produções de matéria seca radicular e da parte aérea, em razão do aumento das doses de calcário (Figuras 1a;b;c).

A absorção de micronutrientes por metro de raiz foi influenciada significativamente pelas cultivares, exceto para Mn e Zn. Assim, para B, a FT-Bonito apresentou maior absorção por metro de raiz, e para o Cu e Fe os maiores valores foram observados na cultivar Carioca (Tabela 4).

A quantidade absorvida de B (Figura 10a) reduziu significativamente com a aplicação de calcário, apresentando resposta linear para as cultivares Carioca e FT-Bonito, sendo o inverso observado na Pérola, que foi a única responsiva. Esse resultado é decorrente da redução dos teores do elemento na parte aérea (Figura 4a).

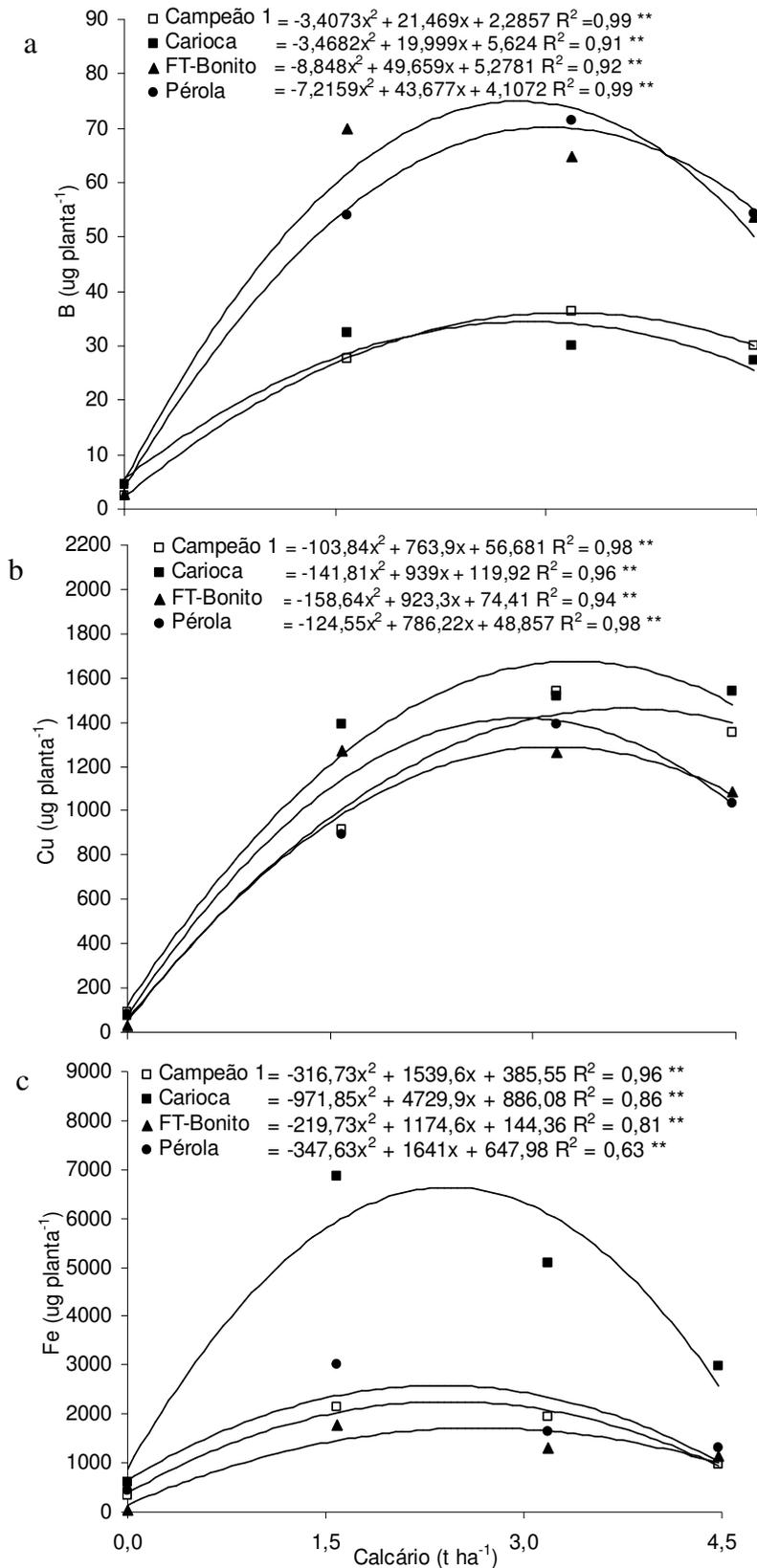


Figura 8 - Quantidade acumulada de B (a), Cu (b) e Fe (c) na parte aérea de cultivares de feijão, em razão dos níveis de calcário.

Figure 8 - Levels of B (a), Cu (b) and Fe (c) in the aerial part of bean cultivars as a function of liming.

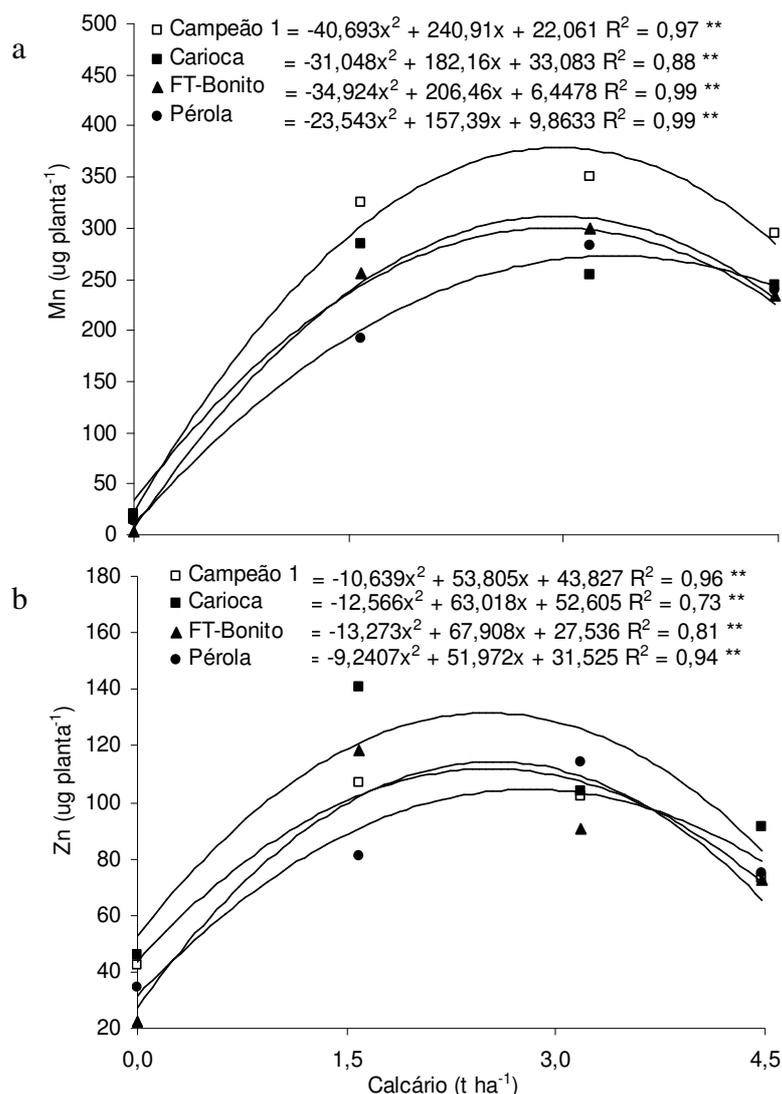


Figura 9 - Quantidade acumulada de Mn (a) e Zn (b) na parte aérea de cultivares de feijão, em razão dos níveis de calcário.

Figure 9 - Levels of Mn (a) and Zn (b) in the aerial part of bean cultivars as a function of liming.

Já na ausência da calagem, a cultivar FT-Bonito apresentou os maiores valores de B absorvido por unidade de comprimento de raiz (Figura 10a), sendo o menor valor observado na Pérola. No entanto, com a calagem, a cultivar Pérola apresentou maior eficiência em relação às demais, sendo o dobro da verificada para a Campeão 1, que não respondeu à calagem. Este resultado observado na Pérola é decorrente do maior teor de B na mesma, uma vez que não houve diferença na produção de matéria seca da parte aérea (Figuras 1a;b).

Com relação à quantidade absorvida de Cu e Mn (Figuras 10b e 11a), nota-se que não houve efeito da interação entre os fatores, observando-se assim efeito significativo para níveis de calcário que proporcionaram incremento de forma positiva quadrática na absorção desses nutrientes até a dose aproximada de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário.

A quantidade absorvida de Fe (Figura 10c) por unidade de comprimento de raiz reduziu com o aumento das doses de calcário nas cultivares Campeão 1 e Carioca de forma negativa linear. Na ausência de calagem, a cultivar Carioca apresentou o maior valor de Fe, sendo que os menores valores foram observados na FT-Bonito e Pérola, que não responderam a calagem.

Quanto ao Zn (Figura 11b), a aplicação de calcário reduziu significativamente a eficiência de absorção nas cultivares Campeão 1, Carioca e FT-Bonito. Esse resultado é decorrente da redução dos teores do elemento na parte aérea, que provavelmente foi proporcionalmente maior que o incremento que a calagem acarretou ao comprimento radicular (Figura 1a).

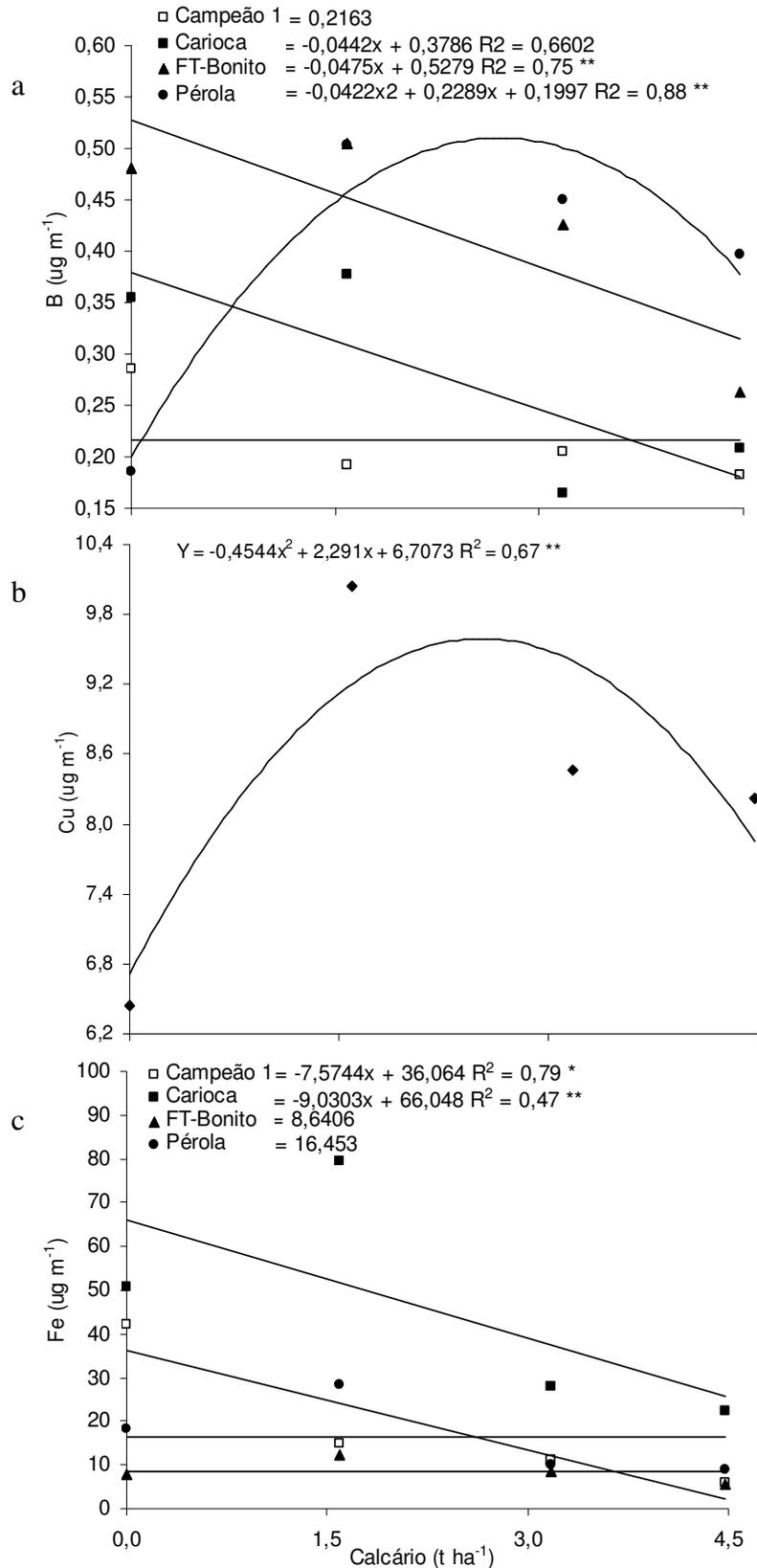


Figura 10 - Quantidade absorvida de B (a), Cu (b) e Fe (c) por metro de raiz em cultivares de feijão, em razão das doses de calcário.

Figure 10 - Amounts of B (a), Cu (b) and Fe (c) absorbed by meter of root of bean plants as a function of liming.

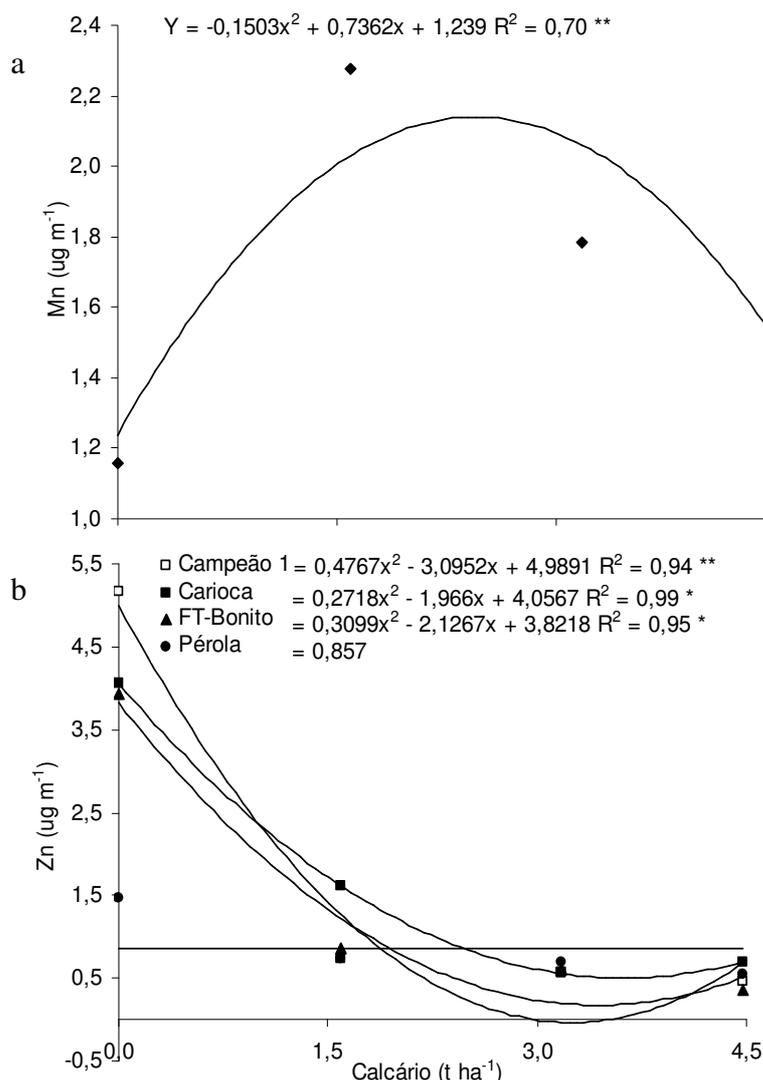


Figura 11 - Quantidade absorvida de Mn (a) e Zn (b) por metro de raiz em cultivares de feijão, em razão das doses de calcário.
Figure 11 - Amounts of Mn (a) and Zn (b) absorbed by meter of root of bean plants as a function of liming.

Vale ressaltar, ainda, que, na ausência da calagem, a Campeão 1 apresentou maior eficiência na absorção do Zn por unidade de raiz em comparação com às demais cultivares, sendo cinco vezes maior que a Pérola, que não respondeu à calagem.

Mediante esses resultados, pode-se inferir que o sistema radicular da FT-Bonito, Carioca e Campeão 1 é mais eficiente na absorção de B e Zn, respectivamente, sendo que a Pérola demonstrou ser a menos eficiente na absorção dos micronutrientes por unidade de raiz. Os resultados verificados nas cultivares podem ser atribuídos à característica morfológica de distribuição do sistema radicular e da cinética de absorção de nutrientes. Variações nas características morfológicas das raízes e na cinética de absorção de nutrientes têm sido evidenciadas principalmente em

espécies produtoras de grãos (VILELA & ANGHINONI, 1984).

Conclusões

Na ausência de calagem, a cultivar Pérola apresenta maior capacidade de absorção de Cu, Fe e Zn.

Com o aumento das doses de calcário, a cultivar Carioca apresenta maior acúmulo de Cu, Fe e Zn na parte aérea.

A calagem promove aumento na absorção do Cu e Mn pelas raízes em todas as cultivares de feijão.

Sob alta disponibilidade de micronutrientes, as cultivares de feijão reduzem a eficiência na produção de matéria seca por unidade de micronutriente absorvido.

Referências

- BARBOSA FILHO, M. P.; DYNIA, J. F.; FAGERIA, N. K. **Zinco e ferro na cultura do arroz**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 71p. (Embrapa-CNPAP. Documento, 49).
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, Q. F. Adubação e calagem para cultura do feijoeiro irrigado em solos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1.317-1.324, 2000.
- CARBONELL, S. A. M.; ITO, M. F.; AZEVEDO FILHO, J. A. de; SARTORI, J. A. Cultivares comerciais de feijoeiro para o Estado de São Paulo: Característica e melhoramento. In: **Dia de campo de Feijão**, 19, 2003, Capão Bonito. Anais... Campinas: Instituto Agrônômico, 2003. p. 5-27. (Documento IAC, 71).
- CLARK, R. B. Plant genotype differences in uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for growth. **Plant and soil**, Dordrecht, n. 72, p. 175-196, 1983.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999 421p.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42p. (Documentos, 92).
- FERREIRA, C. M.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. **Feijão na economia nacional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 47 p. (Documentos, 135).
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Agronômica Ceres, 1980 256p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319p.
- MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; MORAES, L. A. C.; SALVADOR, J. O. Efeito da relação cálcio e magnésio do corretivo sobre micronutrientes na alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.580-586, 2000.
- OLIVEIRA, I. P.; THUNG, M. D. T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. POTAFÓS. Piracicaba. 1988, p.185-212.
- PENDIAS, A. K.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. Boca Raton: CRC, 1984. 315p.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
- ROSOLEM, C. A. Interpretação dos teores de bases tocáveis do solo. In: BÜLL, L. T.; ROSOLEM, C. A. (Eds). **Interpretação de análise de solo e plantas para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícolas e Florestais, 1989 p.97-128.
- ROSOLEM, C. A.; GIOMMO, G. S.; LAURENTI, R. L. B. Crescimento radicular e nutrição de cultivares de algodão em resposta à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.827-833, 2000.
- ROSOLEM, C. A.; MARCELO, C. S. Crescimento radicular e nutrição de soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, n. 3, p.448-455, 1998.
- ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, n. 4, p.491-497, 1994.
- SILVA, L. M.; LEMOS, L. B.; CRUSCIOL, C. A. C.; FELTRAN, J. C. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.701-707, 2004.
- SU, C.; EVANS, L. J.; BATES, T. E.; SPIERS, G. A. Extractable soil boron and alfalfa uptake: calcium carbonate effects on acid soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, n.5, p.1.445-1.450, 1994.
- VALE, L. S. R. **Doses de calcário, desenvolvimento da planta, componentes de produção, produtividade de grãos e absorção de nutrientes de dois cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1994. 71f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.
- VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética, da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, n.1, p.91-96, 1984.

Recebido em 31-03-2005

Aceito para publicação em 14-10-2006