

CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJOEIRO “OURO NEGRO” EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO FOLIAR COM MOLIBDÊNIO⁽¹⁾

A. C. S. PESSOA⁽²⁾, A. C. RIBEIRO⁽³⁾,
J. M. CHAGAS⁽⁴⁾ & S. T. A. CASSINI⁽⁵⁾

RESUMO

Objetivando avaliar os efeitos da aplicação foliar de molibdênio (Mo) na concentração de Mo, N total, N orgânico e nitrato nas folhas e nos grãos e a exportação dos nutrientes pelos grãos do feijoeiro cv. Ouro Negro, realizou-se o experimento, em condições de lavoura, na Universidade Federal de Viçosa. Os tratamentos constituíram-se de doses crescentes de Mo (0, 40, 80 e 120 g ha⁻¹ de Mo) na forma de molibdato de amônio, aplicado em adubação foliar 25 dias após a emergência. Usou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Pelos teores de Mo, de N total e de N orgânico nas folhas e nos grãos, observou-se uma resposta quadrática à aplicação de doses crescentes de Mo. A aplicação foliar de Mo aumentou a concentração de Mo nas folhas, de 0,49 mg kg⁻¹ (testemunha) para 0,95 mg kg⁻¹ (para a máxima eficiência técnica - MET), o que proporcionou incremento na utilização do N, com maiores teores de N total e de N orgânico nas folhas e nos grãos e plantas com crescimento satisfatório e com folhas de coloração verde-escura. As plantas que não receberam Mo apresentaram teor médio de 26,6 g kg⁻¹ de N e sintomas de deficiência de N. A aplicação de Mo não exerceu efeito na concentração de NO₃⁻, tanto nas folhas (0,39 g kg⁻¹ NO₃⁻) como nos grãos (0,03 g kg⁻¹ NO₃⁻). Considerando a dose de 80,3 g ha⁻¹ de Mo, que correspondeu à MET para a produtividade estimada de 1.893 kg ha⁻¹ de grãos, as quantidades dos nutrientes exportados nos grãos do feijoeiro por hectare foram de 72 kg de N; 15,7 kg de Ca; 15,3 kg de K; 9,4 kg de P; 4 kg de Mg; 102 g de Fe; 63 g de Zn; 25 g de Cu; 23 g de Mn e 3,2 g de Mo.

Termos de indexação: feijão, nutrição de plantas, micronutrientes, nitrogênio.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Trabalho financiado pela FAPEMIG e apresentado na XXIII Reunião Bras. Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (FertBio-98), Caxambu, 11 a 16 de outubro de 1998. Recebido para publicação em março de 1999 e aprovado em julho de 1999.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). CEP 85960-000 Mal. Cândido Rondon (PR). E-mail: pessoa@unioeste.br

⁽³⁾ Professor Titular aposentado do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). CEP 36571-000 Viçosa (MG), pesquisador visitante EPAMIG. Bolsista da FAPEMIG.

⁽⁴⁾ Pesquisador da EPAMIG, Coordenador do projeto de pesquisa, Viçosa (MG).

⁽⁵⁾ Professor Titular do Departamento de Microbiologia, UFRV.

SUMMARY: MOLYBDENUM LEAF CONCENTRATION AND NUTRIENT ACCUMULATION BY COMMON BEANS "OURO NEGRO" IN RESPONSE TO LEAF MOLYBDENUM APPLICATION

The objective of this work was to evaluate the effects of molybdenum (Mo) leaf application in beans on leaf and grain concentration of Mo, total N, organic N and nitrate as well as the grain nutrient accumulation. Beans cv. "Ouro Negro" was cultivated at the Universidade Federal de Viçosa. Treatments consisted of increasing levels of Mo (0, 40, 80 and 120 g ha⁻¹), using ammonium molybdate applied to the leaves 25 days after emergence. The experimental design was a randomized complete block with four replications. There was a quadratic response due to increasing doses of Mo applied, on the leaf and grain concentrations of Mo, total N and organic N. Leaf Mo increased from 0.49 mg kg⁻¹ (control) up to 0.95 mg kg⁻¹, what improved N utilization resulting in higher leaf and grain concentrations of total N and organic N, better plant growth and darker green leaves. Plants without Mo showed lower N concentration 26.6 g kg⁻¹ of N, on the average, and severe N deficiency symptoms. There were no effects of Mo application on leaf or grain NO₃⁻ concentration 0.39 g kg⁻¹ NO₃⁻ and 0.03 g kg⁻¹ NO₃⁻, respectively. Considering an application of 80,3 g ha⁻¹ of Mo for an estimate productivity of 1,893 kg ha⁻¹ of grains, the amount of nutrients removed by the bean crop per ha would be: 72 kg of N; 15.7 kg of Ca; 15.3 kg of K; 9.4 kg of P; 4 kg of Mg; 102 g of Fe, 63 g of Zn; 25 g of Cu; 23 g of Mn and 3.2 g of Mo.

Index terms: common beans, plant nutrition, micronutrients, nitrogen.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que o nitrogênio necessário à cultura do feijoeiro pode provir de três fontes: do solo, principalmente da mineralização da matéria orgânica, dos fertilizantes nitrogenados e da fixação biológica de nitrogênio (FBN). O solo representa uma fonte limitada de N, facilmente esgotável após alguns cultivos. Os fertilizantes nitrogenados, além de apresentar custo elevado, podem contribuir para a poluição ambiental. O N₂, que constitui 80% da atmosfera, possui forte ligação entre os átomos de N, que não é quebrada por nenhuma planta, mas apenas por algumas bactérias, incluindo os rizóbios que formam associações simbióticas com plantas leguminosas.

O feijoeiro, quando em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, é capaz de aproveitar o N₂ atmosférico, contribuindo com a sua nutrição nitrogenada. Todavia, a utilização da inoculação no feijoeiro é limitada, pois nem sempre têm sido obtidas respostas positivas, principalmente em decorrência da baixa eficiência dos inoculantes usados e, ou, do manejo inadequado das adubações. Em decorrência disso, a adubação nitrogenada é frequentemente utilizada na obtenção de altas produtividades. Entretanto, para o pleno funcionamento da simbiose com o *Rhizobium*, o feijoeiro tem de estar em solo com condições ótimas de fertilidade. A este respeito, é marcante a influência do molibdênio no crescimento da planta e da bactéria, como também na eficiência da simbiose (Marschner, 1995). Assim, a carência de molibdênio poderia ser

uma das causas da baixa produtividade observada em algumas condições de solo.

Na carência de molibdênio, o metabolismo do nitrogênio pode ser seriamente afetado, por sua participação como componente da nitrogenase, responsável pela FBN, e da redutase do nitrato, responsável pela redução do nitrato a nitrito, no processo de assimilação do nitrogênio. Nessas condições, a atividade dessas enzimas é muito reduzida, acumulando nitrato na planta (Marschner, 1995). Plantas nutridas com nitrato apresentam concentração de molibdênio maior que as nutridas com amônio. Essa diferença na concentração decorre, em parte, do molibdênio presente na redutase do nitrato. Conforme Gupta & Lipsett (1981), medições do teor de nitrato na planta podem servir como indicadores de possíveis deficiências de molibdênio.

A maioria dos ensaios de adubação com molibdênio, na Zona da Mata de Minas Gerais, tem levado a aumentos da produtividade do feijoeiro (Amane, 1994; Amane, 1997; Coelho, 1997; Pessoa, 1998), evidenciando a importância desse nutriente no manejo de adubação, aumentando a produtividade e diminuindo os custos de produção.

A produção vegetal depende não apenas dos teores dos nutrientes na planta, mas principalmente da relação entre eles. A constatação das interferências de um nutriente sobre outro, bem como do grau em que elas ocorrem, faz-se necessária para a melhoria do estado nutricional, e assim se tirar o máximo benefício na produtividade do feijoeiro e, ao mesmo tempo, diminuir os custos de adubação.

O molibdênio, por ser constituinte de enzimas, apresenta concentração na planta muito pequena, geralmente, entre 0,10 e 5,00 mg kg⁻¹ (Kariman & Cox, 1979). Concentrações acima e abaixo dessa faixa podem ser prejudiciais ao desenvolvimento normal das plantas. Abaixo de 0,10 mg kg⁻¹, causam problemas no metabolismo do nitrogênio, e acima de 5,00 mg kg⁻¹, podem ser tóxicas não somente às plantas, mas também aos animais que as consomem (Sousa et al., 1980).

Portanto, cresce o interesse pelas análises para avaliação e controle do teor de molibdênio nas plantas. Contudo, há dificuldades para recomendação de extratores e técnicas de determinação, considerando-se a pequena quantidade encontrada nas plantas e, principalmente, nos solos (Tedesco et al., 1985). Neste contexto, o método de determinação de molibdênio mais promissor é o proposto por Yatsimirskii (1964), modificado por Eivazi et al. (1982) e, recentemente, estudado e adaptado no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, por Dallpai (1996) e Pessoa (1998).

Este trabalho teve como objetivos: verificar a influência da aplicação de doses crescentes de molibdênio sobre os teores de molibdênio, N-orgânico, nitrato, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio, nas folhas e grãos, bem como estimar a quantidade exportada desses nutrientes pelo feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Cultivou-se feijoeiro no outono-inverno de 1996, usando o cv. Ouro Negro, em condições de campo, em área da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Coimbra (MG), em Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico, fase terraço. A análise do solo da camada de 0-20 cm acusou 30, 20, 150 e 800 g kg⁻¹ de areia grossa, areia fina, silte e argila, respectivamente; 6,2; 96 e 0,153 mg kg⁻¹ de fósforo, de potássio e de molibdênio extraídos por Mehlich-1, respectivamente; 0,0; 4,2 e 1,2 cmol_c dm⁻³ de Al, Ca e Mg trocáveis, respectivamente, e pH em água 5,9.

Usou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de doses crescentes de molibdênio (0, 40, 80 e 120 g ha⁻¹). O experimento recebeu adubação uniforme de K, na forma de KCl, e N, na forma de uréia, no sulco de plantio e abaixo das sementes, na dose de 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 20 kg ha⁻¹ de N. Não foi aplicado N em cobertura, para não afetar a FBN.

A aplicação foliar do molibdênio foi feita com solução de molibdato de amônio aos 25 dias da emergência, com o uso de pulverizador costal. Essa pulverização foi feita no período entre 7 e 8 horas da manhã.

Foram semeadas 17 sementes de feijão cv. Ouro Negro por metro, previamente inoculadas com *Rhizobium tropici* (estirpes CIAT 899, SEMIA 487 e BR 281), *Rhizobium etli* (estirpe CIAT 632) e *Rhizobium leguminosarum* (estirpes BR 322 e KIM 5), obtidas no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFV. Cada parcela experimental foi constituída de quatro linhas de semeadura de 6,0 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, onde foram retiradas as duas linhas centrais como parcela útil, descontando-se 1,0 m de ambas as extremidades, totalizando uma área útil de 4,0 m².

No pleno florescimento, 50 dias após o plantio, foram coletadas, ao acaso, de dez plantas somente a primeira folha trifoliolada adulta completamente desenvolvida, a partir do ápice da planta. As folhas foram levadas ao laboratório, lavadas com água destilada, secas em estufa de ventilação forçada a 65°C, moídas e homogeneizadas para serem usadas nas determinações dos nutrientes.

Na colheita, as plantas foram arrancadas manualmente e levadas ao terreiro para batidura das vagens, quando secas, separados os grãos e a palhada. Os grãos ficaram ao sol até atingirem umidade entre 12 e 14%, sendo determinada a produção de grãos em kg ha⁻¹. Posteriormente, uma amostra de 400 grãos, de cada parcela, foi moída e homogeneizada para ser usada nas determinações dos nutrientes.

Na determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn e Mo nas folhas coletadas no pleno florescimento e nos grãos colhidos, foram usadas amostras de 1,0 g e submetidas à digestão nítrico-perclórica (Tedesco et al., 1985), usando-se 6,0 mL de HNO₃ mais 2,0 mL de HClO₄. Os teores de Ca, Mg, Zn, Cu e Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de P foi determinado por fotocolorimetria, e o de K por fotometria de chama (Tedesco et al., 1985). O molibdênio foi determinado conforme método descrito por Yatsimirskii (1964), modificado por Pessoa (1998). Na determinação do N total, usaram-se amostras de 0,2 g que foram submetidas à digestão sulfúrica (Tedesco et al., 1985). No extrato, o N total foi determinado por destilação pelo método Kjeldahl. Na determinação do N orgânico, usaram-se amostras de 100 mg, que foram submetidas à digestão sulfúrica. No extrato, dosou-se o N orgânico, utilizando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1965). Na determinação do NO₃⁻, usaram-se amostras de 100 mg, seguindo o método descrito por Cataldo et al. (1975).

Os dados de produção de grãos e de absorção e acumulação dos nutrientes foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão a 5%. Na estimativa da dose de máxima eficiência técnica (MET), foi usada a equação que apresentou melhor ajuste, sendo calculada a dose de molibdênio ao igualar a zero a primeira derivada que estima a produção máxima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de grãos e concentrações de molibdênio, N total, N orgânico e NO_3^-

A produção de grãos apresentou resposta quadrática à aplicação foliar de doses de molibdênio (Figura 1). A MET foi conseguida com a dose estimada de $80,3 \text{ g ha}^{-1}$ de Mo aplicado via foliar aos 25 dias da emergência das plantas, com produtividade estimada de 1.892 kg ha^{-1} . Essa dose de molibdênio foi calculada ao igualar a zero a primeira derivada da função de produção de grãos.

Observou-se uma resposta quadrática nas concentrações de Mo à aplicação de doses crescentes de molibdênio, de N total e de N orgânico tanto nas folhas no pleno florescimento quanto nos grãos colhidos (Figura 2). Entretanto, para a concentração de NO_3^- , não houve resposta (Quadro 1).

A adubação foliar com molibdênio aumentou o teor de molibdênio nas folhas, de $0,49 \text{ mg kg}^{-1}$ (tratamento testemunha) para $0,95 \text{ mg kg}^{-1}$, valor estimado da MET (Figura 2). As plantas satisfatoriamente nutridas com molibdênio tiveram incremento na utilização do N, possivelmente, por melhorar a FBN e utilizar mais eficientemente o N mineral absorvido do solo, o que foi comprovado pelos maiores teores de N total e de N orgânico nas folhas e nos grãos (Figura 2) e pelo aspecto visual das plantas que apresentavam intenso crescimento e com folhas de coloração verde. Esses efeitos do molibdênio em incrementar a utilização do N, foram os possíveis responsáveis para essa produtividade de grãos conseguida com a aplicação foliar de molibdênio. Os altos coeficientes de correlação linear entre a produção de grãos e os teores de Mo e de N nas folhas e grãos (Quadro 2) corroboram essas suposições. Amane (1997) também encontrou correlação positiva entre os teores de N nas folhas e a produção do feijoeiro nas localidades de Viçosa

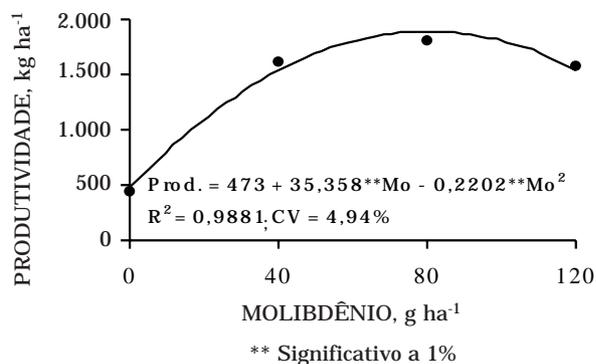


Figura 1. Produtividade de grãos do feijoeiro cv. Ouro Negro, cultivado na safra outono-inverno de 1996, em função da adubação foliar com molibdênio.

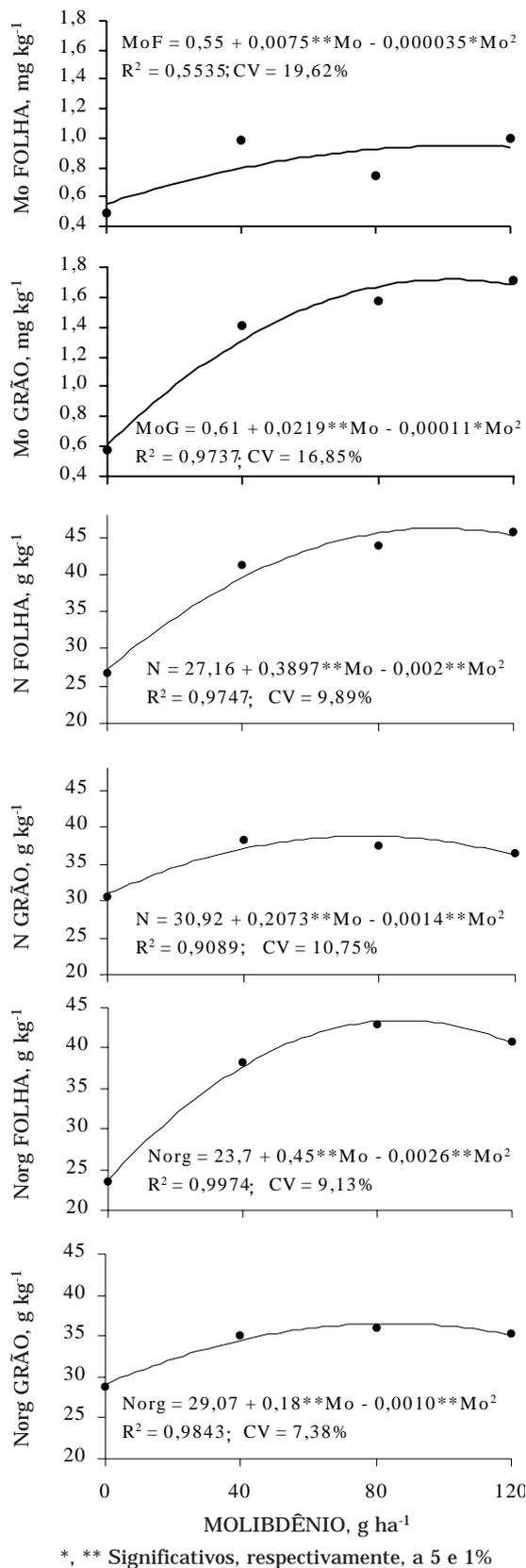


Figura 2. Teores de Mo, N total e N orgânico (N org) nas folhas e nos grãos do feijoeiro cv. Ouro Negro, cultivado na safra outono-inverno de 1996, em função da adubação foliar com molibdênio.

Quadro 1. Teores de nitrato, fósforo e cobre nas folhas e de nitrato, fósforo, cálcio, magnésio e manganês nos grãos de feijoeiro cv. Ouro Negro, cultivado no outono-inverno de 1996, em resposta à adubação foliar com molibdênio

Dose de Mo	Teor na folha			Teor no grão				
	NO ₃ ⁻	P	Cu	NO ₃ ⁻	P	Ca	Mg	Mn
g ha ⁻¹	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹
0	0,41	3,1	12,4	0,02	5,6	10,1	2,2	12,2
40	0,41	3,3	11,1	0,05	5,0	8,6	2,2	12,5
80	0,41	3,1	11,1	0,02	4,9	8,0	2,1	12,3
120	0,35	2,9	11,4	0,04	5,2	8,1	2,2	12,3
Média	0,39	3,1	11,5	0,03	5,2	8,7	2,2	12,3
Significância*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	22,76	8,48	8,15	67,59	8,30	15,69	7,15	14,24

* ns não-significativo, pelo teste t a 5%, para qualquer efeito.

Quadro 2. Coeficientes de correlação linear simples entre a produtividade de grãos, o teor de molibdênio nas folhas e nos grãos e o teor de nitrogênio nas folhas do feijoeiro cv. Ouro Negro, cultivado no outono-inverno de 1996

Variável	Produção	Mo folha	Mo grão	N folha
Produção	1,00	0,67**	0,87**	0,86**
N folha	0,86**	0,62**	0,87**	1,00
N orgânico folha	0,92**	0,59**	0,88**	0,92**
Mo folha	0,67**	1,00	0,68**	0,62**
N grão	0,67**	0,68**	0,57*	0,73**
N orgânico grão	0,78**	0,54**	0,74**	0,86**
Mo grão	0,87**	0,68**	1,00	0,87**

*, ** Significativos, respectivamente, a 5 e a 1%.

($r = 0,99$), de Ponte Nova ($r = 0,97$) e de Ervália ($r = 0,98$), todas na Zona da Mata de Minas Gerais, o que evidencia a importância do manejo da adubação foliar com molibdênio para incrementar a produção do feijoeiro cultivado nesses solos extremamente pobres nesse nutriente.

Em trabalho realizado por Vieira (1994), a quantidade máxima de N orgânico na parte aérea dos tratamentos que receberam molibdênio foi obtida no período de enchimento de grãos, enquanto, nos tratamentos sem molibdênio, esse máximo foi obtido mais cedo. Isso ocasionou maior taxa de FBN, por um período mais prolongado do ciclo do feijoeiro, quando a planta estava bem nutrida com molibdênio. Concluiu-se que esse nutriente aumentou sobremaneira a atividade da nitrogenase e da

reduzase do nitrato e, portanto, a maior concentração de N pode ser decorrente do N absorvido do solo, como também da FBN (Vieira et al., 1998).

Segundo Oliveira & Thung (1988), a faixa de variação da concentração de molibdênio nas folhas é de 0,40 a 1,40 mg kg⁻¹. No presente experimento, plantas com teores abaixo de 0,55 mg kg⁻¹ apresentaram-se deficientes em molibdênio e o metabolismo do N foi seriamente afetado. As plantas que não receberam adubação foliar com molibdênio apresentaram teor médio de 26,6 g kg⁻¹ de N nas folhas, o que é considerado insatisfatório para o bom desenvolvimento do feijoeiro (Malavolta et al., 1997). Essas plantas apresentavam sintomas característicos de deficiência de nitrogênio, tais como: crescimento reduzido das folhas e da planta inteira, amarelecimento

começando pelas folhas mais velhas e atingindo toda a planta, em forma de clorose uniforme e homogênea.

Com o desenvolvimento do feijoeiro, as folhas tornaram-se necróticas, ocorrendo um desfolhamento precoce, o que diminuiu o ciclo da cultura em cerca de 12 dias e, conseqüentemente, afetou a produção final de grãos. Todavia, a aplicação foliar de molibdênio aumentou o teor de N nas folhas do feijoeiro em 170%, ou seja, de 26,6 g kg⁻¹ (testemunha) para 45,5 g kg⁻¹ com a dose de MET (Figura 2), para a produção de grãos. A dose de molibdênio estimada foi de 80,3 g ha⁻¹ de molibdênio para atingir a produção máxima (Figura 1).

O feijoeiro, por ser leguminosa, pode contar com o fornecimento de N mineral do solo e com o N₂ atmosférico, via FBN. A fixação biológica, possivelmente, deveu-se à inoculação de rizóbios infectivos e eficientes (Mendes et al., 1994) e à eliminação e, ou, correção dos fatores limitantes à nodulação e ao seu adequado funcionamento, como a deficiência de molibdênio, comuns nesses solos da Zona da Mata de Minas Gerais, conforme verificado neste experimento e em experimentos realizados por Vieira et al. (1992); Amane (1994); Vieira (1994); Amane (1997); Coelho (1997) e Pessoa (1998) que encontraram aumentos altamente significativos de produção com a aplicação foliar de molibdênio em doses variando de 20 a 80 g ha⁻¹ aplicadas entre os 20 e 30 dias após a emergência das plantas.

De modo geral, o fornecimento de N pela FBN fica aquém do necessário para alcançar as maiores produtividades da cultura (Hungria et al., 1997). Entretanto, realizando inoculação das sementes com rizóbios eficientes e manejo das adubações nitrogenadas associado à aplicação de molibdênio, podem-se potencializar a FBN e a utilização do N, em solos comprovadamente deficientes em molibdênio (Pessoa, 1998), como ocorreu neste experimento. Isso representa uma forma econômica de substituir, ao menos em parte, a adubação nitrogenada (Mendes et al., 1994; Vieira, 1994; Amane, 1997).

Em decorrência do grande número de ensaios com resultados pouco promissores, obtidos em condições de lavoura até o presente com o feijoeiro (Ramos & Boddey, 1987; Hungria et al., 1997), a substituição total da adubação nitrogenada pela inoculação ainda não pode ser recomendada. Todavia, conforme Vieira et al. (1992); Araújo (1994); Mendes et al. (1994) e Pessoa (1998), mesmo que a inoculação não seja suficiente para suprir todo o N e seja necessária a realização de adubações em cobertura, a eliminação ou a redução dessa prática já representa economia, por diminuir os custos de produção para os agricultores menos tecnificados.

Trabalhos realizados por Vieira et al. (1992) e Amane (1997), em solos da Zona da Mata de Minas Gerais, comprovam que pode ser eliminada a adubação de cobertura em feijoeiro que foi devidamente

adubado no plantio com N (20 kg ha⁻¹), desde que seja feita adubação foliar com molibdênio aos 25 dias da emergência. Pode-se inferir, por esses trabalhos, que a adubação nitrogenada no plantio e, ou, em cobertura pode não trazer efeitos positivos quando o molibdênio for limitante, aumentando os custos de produção da cultura sem o devido retorno econômico para o agricultor.

A adubação foliar com molibdênio, por ter custo extremamente reduzido e por ser de fácil e rápida aplicação, é muito mais eficiente em aumentar a produtividade e não onerar a cultura com custos elevados para a aquisição e aplicação de N mineral, para esses solos deficientes em molibdênio. Deve-se frisar que estes resultados altamente positivos do molibdênio em aumentar a produtividade do feijoeiro, até o momento, só foram verificados na Zona da Mata de Minas Gerais.

Observou-se que a aplicação foliar com molibdênio não exerceu efeitos na concentração de NO₃⁻, tanto nas folhas como nos grãos (Quadro 1), embora as folhas tenham apresentado maior teor de NO₃⁻ (0,39 g kg⁻¹), ao se comparar com o dos grãos (0,03 g kg⁻¹).

De maneira geral, são vários os relatos na literatura (Marschner, 1995) que constataram que, em caso de deficiência de molibdênio, a atividade da redutase do nitrato fica reduzida e, conseqüentemente, acumula-se NO₃⁻ nas folhas, o que não foi observado no presente experimento. Isso indica, para as condições do experimento, que, provavelmente, as plantas deficientes em molibdênio apresentam mecanismo de regulação de absorção de NO₃⁻ do solo, evitando sua acumulação em níveis tóxicos na planta. Também Coelho (1997) e Amane (1997), trabalhando com feijoeiro em condições de lavoura, não encontraram um padrão definido do efeito da aplicação foliar de molibdênio nos teores de NO₃⁻ nas folhas. Assim, os resultados obtidos para o feijoeiro mostram que medições do teor de NO₃⁻ nas folhas não servem como indicadores de possíveis deficiências de molibdênio, o que contradiz o sugerido por Gupta & Lipsett (1981). Isso evidencia a importância do estudo de métodos adequados para a determinação desse nutriente em análise de rotina para a interpretação de níveis críticos, não só para a cultura do feijoeiro, como também para as demais culturas.

Concentrações de nutrientes nas folhas e nos grãos

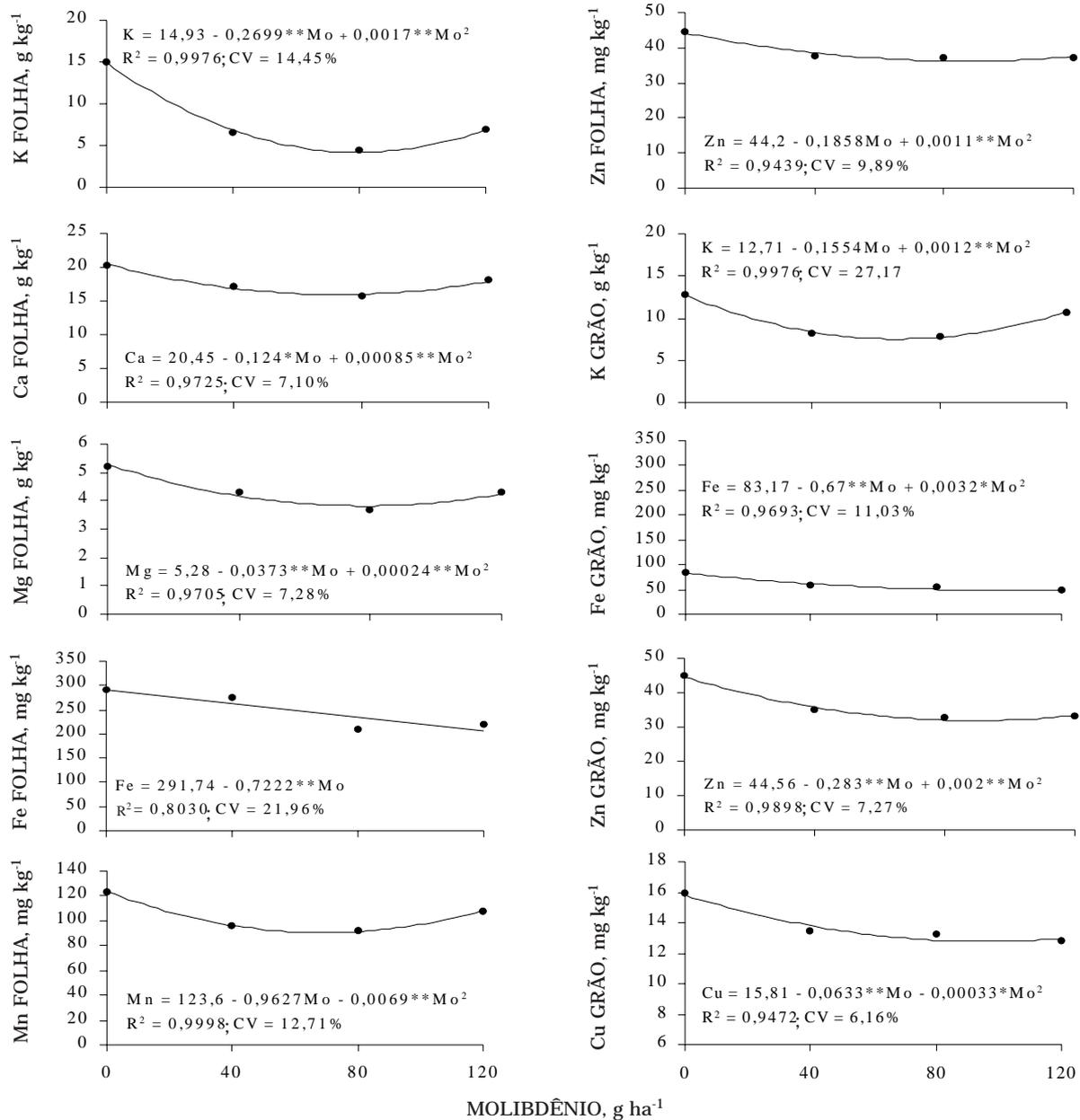
O nitrogênio e o molibdênio tiveram respostas quadráticas positivas com o aumento das doses de molibdênio (Figura 2). Não houve resposta da aplicação de molibdênio nos teores de P e Cu nas folhas, nem para os teores de P, Ca, Mg e Mn nos grãos (Quadro 1).

Entretanto, houve resposta quadrática negativa na concentração dos nutrientes K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn, nas folhas, e de K, Fe, Zn e Cu, nos grãos, com a

aplicação de doses crescentes de molibdênio (Figura 3), o que se justifica pelo incremento no crescimento vegetativo do feijoeiro que, possivelmente, exerceu efeito de diluição desses nutrientes absorvidos.

Com relação à nutrição do feijoeiro, observa-se que os teores foliares dos nutrientes P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu apresentam-se em níveis adequados, enquanto o K encontra-se em níveis deficientes para o bom crescimento do feijoeiro (Malavolta et al., 1997; Oliveira & Thung, 1988). Mesmo com o teor de K nas folhas deficiente, não foram observados sintomas

visuais de deficiência desse nutriente e, provavelmente, a produtividade não foi alterada, visto que o molibdênio, pelos resultados encontrados, foi o nutriente que realmente a limitou, por sua participação no metabolismo do N. Entretanto, atenção especial deve ser dada para a adubação com K em cultivos nesses solos. Conforme Oliveira & Thung (1988), embora o K seja requerido em grandes quantidades, sua deficiência em feijoeiro não é comum, e a maioria dos ensaios com aplicação de doses crescentes de K não tem aumentado a produtividade.



*, ** Significativos, respectivamente, a 5 e 1%.

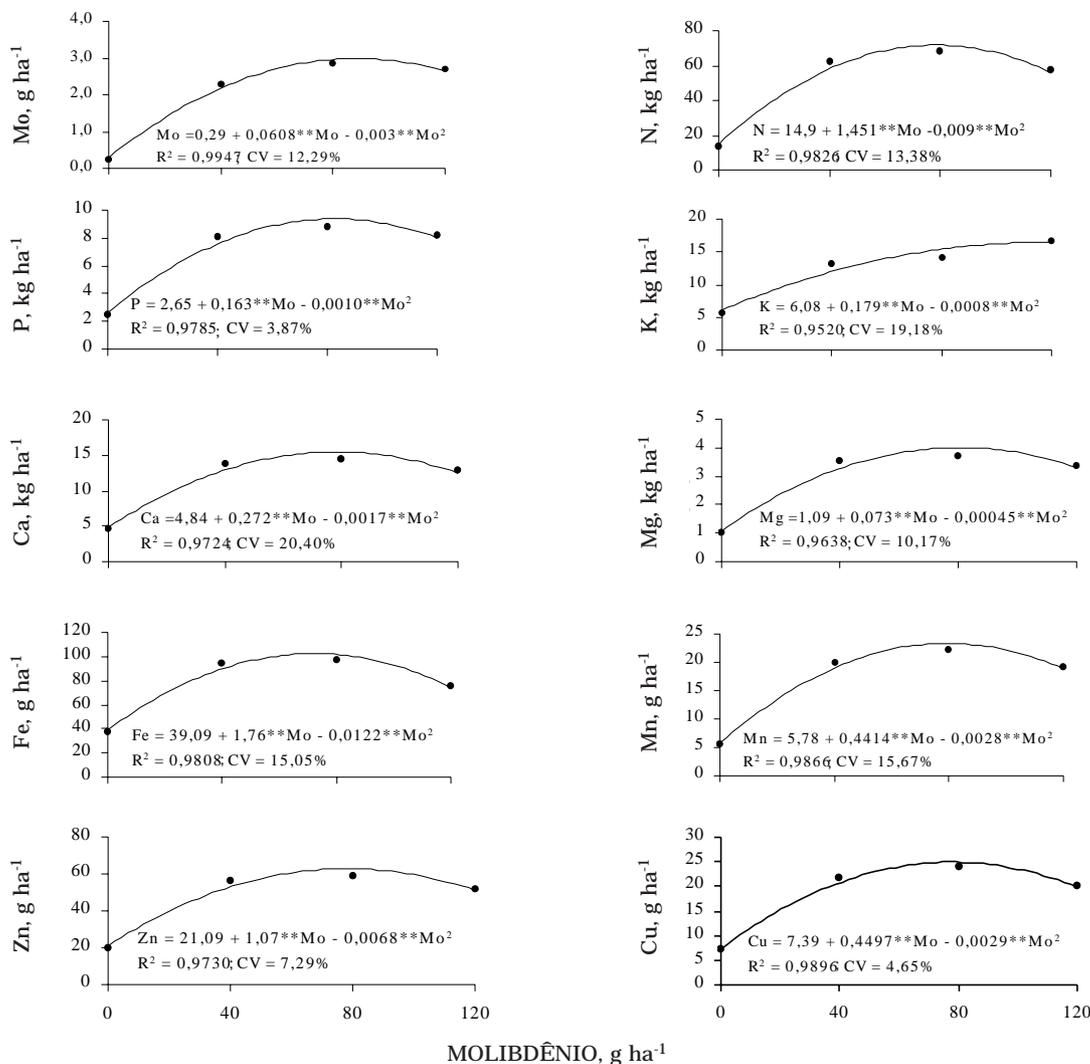
Figura 3. Teor de nutrientes nas folhas e nos grãos do feijoeiro cv. Ouro Negro, cultivado no outono-inverno de 1996, em função da adubação foliar com molibdênio.

Para estes autores o estado nutricional do feijoeiro reflete as condições do ambiente em que a cultura se encontra em desenvolvimento. Por isso, é essencial o conhecimento das condições do solo e do grau de desenvolvimento da cultura para diagnosticar seu estado nutricional e para comparar os resultados da concentração de nutrientes. Deve-se frisar que ocorre variação da concentração dos nutrientes entre as diferentes partes da planta (Amaral et al., 1980), bem como entre os estádios de desenvolvimento (Pessoa et al., 1996) e entre os diferentes cultivares (Amaral et al., 1980), tornando a comparação de níveis considerados adequados extremamente difícil (Malavolta et al., 1997). Portanto, os teores de potássio encontrados nas folhas do feijoeiro cv. Ouro Negro não servem para inferir se esses são satisfatórios ou não para o desenvolvimento desse cultivar.

Exportação dos nutrientes pelos grãos

Para estimar as quantidades dos nutrientes removidos pelo feijoeiro, foram escolhidas as equações que apresentaram coeficientes significativos e com os melhores ajustes e foi utilizada a dose de molibdênio que estimou a produção máxima de grãos colhidos ou seja, de 80,3 g ha⁻¹ de molibdênio.

Para todos os nutrientes avaliados, encontrou-se uma resposta quadrática do acúmulo e remoção pelos grãos em função da aplicação de doses de molibdênio (Figura 4). Caso seja considerada a dose de 80,3 g ha⁻¹ de molibdênio, que correspondeu à MET para a produtividade estimada de 1.893 kg ha⁻¹ de grãos (Figura 1), as quantidades estimadas de nutrientes exportadas nos grãos colhidos, para essa produção máxima em um hectare foram de 72 kg de N; 15,7 kg de Ca; 15,3 kg de K; 9,4 kg de P; 4 kg de Mg; 102 g



** Significativo a 1% pelo teste t.

Figura 4. Nutrientes acumulados e exportados pelos grãos do feijoeiro cv. Ouro Negro, cultivado no outono-inverno de 1996, em função da adubação foliar com molibdênio.

de Fe; 63 g de Zn; 25 g de Cu; 23 g de Mn e 3,2 g de Mo. Esses resultados de exportação dos nutrientes concordam com os apresentados por Haag et al. (1967), Cobra Netto et al. (1971), Amaral et al. (1980) e Pessoa et al. (1996). Assim, o N foi o elemento mais exigido pela cultura e o mais retirado do solo, seguido do Ca e do K que, neste trabalho, apresentaram valores próximos; já o P e o Mg são, entre os macronutrientes, os menos removidos pela cultura do feijoeiro.

Atenção especial deve ser dada ao molibdênio, considerando as pequenas quantidades exigidas pelo feijoeiro e removidas pelos grãos. Todavia, se forem feitos cultivos sucessivos, sem as devidas correções em solos pobres em molibdênio, o problema tende a se agravar e, possivelmente, num futuro próximo, causar sérios prejuízos à produtividade do feijoeiro, por causa da dependência dessa cultura a esse micronutriente.

Conforme Oliveira & Thung (1988), o feijoeiro requer quantidades relativamente altas de N e de K e quantidades menores de P, de Ca, de Mg e de S. Parte desses nutrientes retorna com os restos culturais como folhas, vagens e raízes, mas grande parte, como demonstrado neste experimento, é removida pelos grãos colhidos. Portanto, para manter a fertilidade natural do solo, faz-se necessária a aplicação de adubações corretas com, pelo menos, a quantidade de cada nutriente que a planta extrai e, ou, que é removida pela colheita. Atenção especial deve ser dada aos restos culturais que devem retornar à lavoura, o que normalmente não acontece nas pequenas propriedades agrícolas, onde se realiza colheita manual com trilha em trilhadora estacionária. Nessas condições, normalmente, os restos culturais são queimados ou usados na alimentação de animais, o que vai representar, progressivamente, perda de nutrientes do solo.

No presente trabalho, a quantidade de N mineral aplicada foi de 20 kg ha⁻¹, todavia, a quantidade de N removida pelos grãos chegou a 72 kg ha⁻¹, muito além daquela aplicada no momento da semeadura. É possível que o N absorvido tenha vindo, conjuntamente, do solo, pela mineralização da matéria orgânica, e do processo de FBN, visto que as sementes foram inoculadas com rizóbios eficientes e as folhas das plantas no pleno florescimento apresentavam teores de N considerados satisfatórios para o bom desenvolvimento da cultura naquelas plantas que receberam adubação foliar de molibdênio.

CONCLUSÕES

1. A aplicação foliar de molibdênio aumentou a concentração de molibdênio nas folhas, de 0,49 mg kg⁻¹ (Testemunha) para 0,95 mg kg⁻¹ (MET), proporcionando incremento na utilização do nitrogênio e aumento na produção de grãos do feijoeiro.

2. As quantidades dos nutrientes removidos pelos grãos colhidos em um hectare, na produtividade máxima estimada de 1.893 kg ha⁻¹ de grãos, obtida com a dose estimada de 80,3 g ha⁻¹ de molibdênio aplicada via foliar, foram de 72 kg de N; 15,7 kg de Ca; 15,3 kg de K; 9,4 kg de P; 4 kg de Mg; 102 g de Fe; 63 g de Zn; 25 g de Cu; 23 g de Mn; e 3,2 g de Mo.

LITERATURA CITADA

- AMANE, M.I.V. Adubação nitrogenada e molibdica da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na Zona da Mata de Minas Gerais: efeitos de doses, calagem e rizóbio. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 83p. (Tese de Doutorado)
- AMANE, M.I.V. Respostas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molibdica. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 70p. (Tese de Mestrado)
- AMARAL, F.A.L.; REZENDE, H.E.C.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. & MALAVOLTA, E. Exigência de nitrogênio, fósforo e potássio de alguns cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). An. ESALQ, 32:223-239, 1980.
- ARAÚJO, R.S. Fixação biológica do nitrogênio em feijão. In: ARAÚJO, R.S. & HUNGRIA, M., eds. Microrganismos de importância agrícola. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p.91-120.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHARDER, M. & YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 6:71-81, 1975.
- COBRA NETTO, A.; ACCORSI, W.R. & MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. var. roxinho). An. ESALQ, 28:257-274, 1971.
- COELHO, F.C. Efeitos do nitrogênio e do molibdênio sobre as culturas do milho e do feijão em monocultivo e em consórcio. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 136p. (Tese de Doutorado)
- DALLPAI, D.L. Determinação espectrofotométrica de molibdênio em solo e tecido vegetal e adsorção de molibdato em alguns solos de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 56p. (Tese de Mestrado)
- EIVAZI, F.; SIMS, J.L. & CRUTHFIELD, J. Determination of molybdenum in plant materials using a rapid, automated method. Soil Sci. Plant Anal., 13:135-150, 1982.
- GUPTA, U.C. & LIPSETT, J. Molybdenum in soil, plants and animals. Adv. Agron., 34:73-115, 1981.
- HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E. & GARGANTINI, H. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. Bragantia, 26:381-391, 1967.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. & ARAÚJO, R.S. Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro. In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M., eds. Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1997. p.187-294.

- JACKSON, M.L. Nitrogen determinations for soil and plant tissue. In: JACKSON, M.L., ed. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1965. p.183-204.
- KARIMAN, N. & COX, F.R. Molybdenum availability as predicted from selected soil chemical properties. *Agron. J.*, 71:63-65, 1979.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MENDES, I.C.; SUHET, A.R.; PERES, J.R.R. & VARGAS, M.A.T. Eficiência fixadora de estirpes de rizóbio em duas cultivares de feijoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:421-425, 1994.
- OLIVEIRA, I.P. & THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M. & YAMADA, T., eds. Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1988. p.175-212.
- PESSOA, A.C.S. Atividades de nitrogenase e redutase do nitrato e produtividade do feijoeiro em resposta à adubação com molibdênio e fósforo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 151p. (Tese de Doutorado)
- PESSOA, A.C.S.; KELLING, C.R.S.; POZZEBON, E.J. & KÖNIG, O. Concentração e acumulação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro cultivado sob diferentes níveis de irrigação. *Ci. Rural*, 26:69-74, 1996.
- RAMOS, M.L.G. & BODDEY, R.M. Yield and nodulation of *Phaseolus vulgaris* and the competitiveness of an introduced *Rhizobium* strain: effects of lime, mulch and repeated cropping. *Soil Biol. Biochem.*, 19:171-177, 1987.
- SOUSA, J.C.; CONRAD, J.H. & MOTT, G.O. Interrelações entre minerais no solo, forrageiras e tecido animal. 2. Cobre e molibdênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 15:335-341, 1980.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim técnico, 5)
- VIEIRA, R.F. Aplicação foliar de molibdênio e seu efeito nas atividades da nitrogenase e redutase do nitrato no feijoeiro em campo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1994. 188p. (Tese de Doutorado)
- VIEIRA, C.; NOGUEIRA, A.O. & ARAÚJO, A. Adubação nitrogenada e molibdica na cultura do feijão. *R. Agric.*, 67:117-124, 1992.
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C. & CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. *J. Plant Nutr.*, 21:169-180, 1998.
- YATSIMIRSKII, K.B. Catalytic and chemical kinetics: the use of catalytic reactions involving hydrogen peroxide in the study of the formation of complexes and in the development of very sensitive analytical methods. [S.l.: s.n.], 1964. não paginado.