

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO FEIJÃO ADUBADO COM
NÍQUEL E MOLIBDÊNIO

JOSÉ FRANCISCO LOPES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
ABRIL – 2013

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO FEIJÃO ADUBADO COM
NÍQUEL E MOLIBDÊNIO

JOSÉ FRANCISCO LOPES

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Cunha Coelho

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
ABRIL - 2013

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO FEIJÃO ADUBADO COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO

JOSÉ FRANCISCO LOPES

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.

Aprovada em 9 de abril de 2013.

Comissão examinadora:

Prof. Dr. Geraldo Amaral Gravina (D.Sc – Fitotecnia) – UENF

Prof. Dr. Henrique Duarte Vieira (D.Sc – Produção Vegetal) – UENF

Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel (D.Sc – Solos e Nutrição de Plantas)
IFES - Campus de Alegre

Prof. Dr. Fábio Cunha Coelho (D.Sc – Fitotecnia) – UENF Orientador

Com muito carinho:

Aos meus pais, **Manoel Estevam Lopes e Maria Francisca Lopes**
(in memorian).

Aos meus irmãos, **Jair Francisco Lopes, João Francisco Lopes,**
Joel Francisco Lopes e Joaci Francisco Lopes.

Às minhas irmãs, **Maria da Glória Estevam Medina e Marli Francisca Lopes,** e
em especial à minha grande amiga e companheira **Simone Teixeira Rezende**
Lopes.

Ao meu filho, **Rafael Teixeira Lopes,** fonte de todas as minhas inspirações.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e proteção, por ter me ajudado a recomeçar e a refazer sempre que foi necessário.

Aos Programas DINTER UENF-IFES e da Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade e condições concedidas para a realização do Curso.

Ao IFES, campus de Alegre, pela concessão da bolsa de estudos e o espaço para as pesquisas, sem os quais não seria possível a realização desse trabalho.

Ao Professor D.Sc. **Fábio Cunha Coelho**, pela orientação e pelo exemplo de compromisso.

Ao colega de trabalho e coorientador, Professor D.Sc. Otacílio José Passos Rangel.

Ao Sr. **José Accácio da Silva**, por toda a ajuda nas realizações das análises e pelos ensinamentos. Por toda a sua dedicação e serenidade.

Ao colega **Wanderson Souza Rabello**, pela amizade, companheirismo e pela ajuda prestada durante a realização deste trabalho.

À minha querida mãe **Maria Francisca Lopes** que está no céu, pelo seu carinho e dedicação com toda nossa família.

Ao meu pai **Manoel Estevam Lopes**, pelo amor e apoio incondicional e por sempre congregar nossa família na unidade.

Aos meus irmãos e irmãs **Jair, João, Joel, Joaci, Glória e Marli**, pelo apoio, incentivo e por serem um presente de Deus em minha vida.

Em especial à minha querida **Simone**, pela sua compreensão, carinho, incentivo e ternura que me ajudou nos momentos difíceis.

AGRADEÇO

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Molibdênio em solo e planta	4
2.2. Molibdênio e nutrição mineral	11
2.3. Doses estimadas de Mo para aplicação na cultura do feijão.....	13
2.4. Épocas estimadas para aplicação de Mo na cultura do feijão	14
2.5. Níquel em solo e planta	17
2.6. Níquel e nutrição mineral	21
3. TRABALHOS	29
3.1. PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO MINERAL DO FEIJÃO EM RESPOSTA ÀS ADUBAÇÕES COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO	29
RESUMO	29
ABSTRACT	30

1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4. CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
3.2. ADUBAÇÃO FOLIAR COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO NO FEIJOEIRO COMUM 'OURO VERMELHO'	
.....	53
RESUMO	53
ABSTRACT	54
1. INTRODUÇÃO	55
2. MATERIAIS E MÉTODOS	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4. CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
RESUMO E CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICES	90
APÊNDICE A – TRABALHO 1.....	91
APÊNDICE B – TRABALHO 2.....	95

RESUMO

Lopes, José Francisco. D.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Abril de 2013. Produtividade e qualidade do feijão considerando as adubações com molibdênio e níquel. Orientador: Prof. Fábio Cunha Coelho.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade e qualidade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Ouro Vermelho, adubado com níquel e molibdênio, bem como, seus componentes de rendimento (número de vagens planta, número de grãos vagem, peso dos grãos). Para esta avaliação, conduziram-se dois experimentos similares no Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, sendo um em campo e o outro em casa de vegetação. Em ambos os experimentos utilizou-se o arranjo fatorial 5 x 2: cinco doses de níquel (0; 15; 30; 45 e 60 g ha⁻¹ de Ni) com e sem molibdênio (0,0 e 80 g ha⁻¹) num delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. As sementes foram inoculadas com estirpes de *Rhizobium tropici*. No experimento a campo as parcelas foram formadas por quatro linhas de cinco metros de comprimento espaçadas de meio metro, totalizando 10m² por parcela, sendo consideradas como área útil às duas linhas centrais, com descarte de meio metro das extremidades, (4 m²), que aos 25 (DAS) dias após a semeadura recebeu a aplicação foliar de Ni e Mo, feita por meio de um pulverizador manual calibrado para dispensar cerca de 170 L ha⁻¹, de modo a simular uma aplicação mecanizada no campo. Para o Mo foi utilizado como fonte o molibdato de amônio e para o Ni, o cloreto de níquel. No experimento de casa de vegetação foram

cultivadas duas plantas do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Ouro Vermelho por vaso e a aplicação do Ni e do Mo, foi feita por meio de um borrifador manual aos 25 (DAS), visando molhar as folhas completamente até o início do escorrimento. Na casa de vegetação, cada vaso foi conduzido com duplicata, a fim de que na época do florescimento fosse avaliado o número de nódulos, bem como a coleta de folhas para as determinações dos nutrientes. O outro vaso da réplica possibilitou a colheita de sementes e as avaliações das vagens. No experimento de campo, a adubação com 80 g ha⁻¹ de Mo promoveu aumento no teor de N, mas reduziu o teor de Fe na semente; aumentou o número de vagens por planta e a massa seca da parte aérea, havendo também um incremento de 12,71% na produtividade do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho. Em doses elevadas de Ni, a adubação molíbdica reduziu o teor de Ni nas sementes. Neste experimento, as doses de Ni aumentaram o teor de N na folha, o número de sementes por vagem e a massa seca da parte aérea e na presença do Mo aumentaram o teor de Fe na semente sendo que, 60 g ha⁻¹ com Ni aumentou em 27,5% a produtividade do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho. Em casa de vegetação, os teores foliares de N, P, K, Fe, Mo e Ni não foram influenciados pela aplicação foliar de Ni. A aplicação foliar de Mo reduziu os teores foliares de P, Fe e Ni e aumentou o teor foliar de Mo, porém não afetou o teor foliar de N e K. Neste experimento, a aplicação foliar de Ni e Mo aumentaram os teores de N e proteína bruta na semente. A aplicação foliar de Ni elevou em 28,02% o teor de Ni na semente, enquanto, a aplicação de Mo promoveu incremento de 215,15% no teor de Mo na semente. A aplicação de Mo aumentou em 21,62% o número de nódulos nas raízes do feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L, cloreto de níquel hexahidratado, molibdato de amônio, micronutrientes.

ABSTRACT

Lopes, José Francisco. D.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, April 2013. Productivity and quality of beans considering fertilization with molybdenum and nickel. Advisor: Prof. Fábio Cunha Coelho.

The objective of this work was to evaluate the productivity and quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. “Ouro vermelho”, considering fertilization with molybdenum and nickel, as well as its yield components. For this evaluation, were conducted two similar experiments, with one field and the other in a greenhouse. In both experiments, was used the 5 x 2 factorial arrangement: five doses of nickel (0; 15; 30; 45 and 60 g ha⁻¹ de Ni) with and without molybdenum (0,0 and 80 g ha⁻¹). The seeds were inoculated with *Rhizobium tropici* strains and the design was a randomized block, with four replications. In the experiment field was also used common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. “Ouro Vermelho”, the plots were formed by four rows of five meters long spaced of half meter, totaling 10m² per share, being considered as useful area between the two central lines with a half meter discard the ends, (4 m²), that the 25 days after sowing received a foliar application of Ni and Mo, made by means of a hand sprayer calibrated to dispense about 170 L ha⁻¹ so as to simulate a mechanized application in the field. For Mo was used the ammonium molybdate and for Ni was used nickel chloride, applied at the same time that the molybdenum at 25 days after sowing. In a greenhouse

experiment two plants of common bean were cultivated (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. “Ouro Vermelho” per pot and the application of Ni and Mo, was made through a manual spray at 25 days after sowing, to thoroughly wet the leaves until early runoff. In the greenhouse, each pot was made with a replica, so that at flowering was rated the number of nodes, as well as collecting leaves for the determination of nutrients. The other replica pot allowed to collect the seeds and to evaluate the pods. In field experiments, the fertilization with 80 g ha⁻¹ of Mo increased the content of N, but reduced the content of Fe within the seed; increased the number of pods per plant, the dry mass of shoots and also the productivity by 12.71% of the common bean cv. “Ouro Vermelho”. In high doses of Ni, the molybdenum fertilization reduced the content of Ni within the seeds. In this experiment, the doses of Ni increased the content of N within the leaf, the number of seeds per pod and dry mass of shoots, furthermore in the presence of Mo the content of Fe increased within the seed, and 60 g ha⁻¹ with Ni also increased the productivity by 27,5% of common bean cv. “Ouro Vermelho”. In the greenhouse, the foliar contents of N, P, K, Fe, Mo and Ni were not influenced by the foliar application of Ni. The foliar application of Mo decreased the foliar contents of P, Fe and Ni and increased the foliar contents of Mo, but did not affect the foliar content of N and K. In this experiment, the foliar application of Mo and Ni increased the content of N and the crude protein within the seed. The foliar application of Ni increased by 28,02% the content of Ni within the seed, while the application of Mo promoted the increase by 215.15% the Mo content within the seed. The application of Mo increased by 21.62% the number of nodules.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L, nickel chloride hexahydrate, ammonium molybdate, micronutrient.

1. INTRODUÇÃO

As plantas apresentam em sua composição elementos químicos que são absorvidos pelas raízes na solução do solo. Esses elementos químicos, também conhecidos como nutrientes, são utilizados no seu metabolismo para ótimo crescimento e produção. O suprimento à absorção e assimilação dos nutrientes podem ser definidos como nutrição. (Favorim e Marini, 2003).

Aproximadamente 95% da composição química das plantas, expressos em matéria seca, são constituídos de carbono, oxigênio e hidrogênio, enquanto os 5% restantes advêm dos nutrientes minerais separados em duas categorias: os macronutrientes como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre e os micronutrientes como o cloro, zinco, boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e níquel (Favorim e Marini, 2003).

A pequena participação dos elementos minerais na constituição dos vegetais e o próprio termo “micronutriente” podem sugerir menor grau de importância, mas, todos são essenciais para o desenvolvimento e reprodução das plantas. O critério adotado para a separação é meramente quantitativo, uma vez que os micronutrientes desempenham funções vitais no metabolismo vegetal, sendo requerido em menores quantidades comparativamente à demanda de macronutrientes. Esta importância se dá pelo fato de algumas espécies desta família, como o feijoeiro, estabelecerem simbiose com microrganismos fixadores de nitrogênio atmosférico (N_2), processo este dependente de micronutrientes, tais

como Mo e Fe, que são componentes do processo enzimático da nitrogenase em microrganismos diazotróficos (Taiz e Zeiger 2004).

Na produção mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), o Brasil sempre se destacou como o maior produtor, alcançando na safra de 2011 a produção de 3,5 milhões de toneladas, com projeção de 2,9 milhões de toneladas em 2012, sendo uma produção 22% menor que a safra anterior (Conab, 2012). Esta cultura é de grande importância sócio econômica, tem alto valor proteico na alimentação, e, de uma maneira geral, está na mesa do brasileiro todos os dias.

Com a finalidade de aumentar a produtividade de sementes, a adubação com micronutrientes tem se intensificado nos últimos anos. A produção de sementes é uma atividade extremamente importante para a economia brasileira, pois além de ser uma grande fonte geradora de divisas é responsável por milhões de empregos diretos e indiretos (Malavolta, 2006).

O produtor rural brasileiro, para ser competitivo no mercado, necessita aumentar a produtividade das lavouras, assim como, reduzir custos. Porém, algumas práticas precisam ser adotadas para que isto aconteça, e a utilização de micronutrientes na adubação, quando estes estão em deficiência no solo, é uma delas. Busca-se assim, por meio da pesquisa, determinar quais as melhores fontes e dosagens desses nutrientes. Malavolta (2006) comenta que a busca por maiores produtividades, com maior rentabilidade, passa pela melhoria do solo e da nutrição vegetal adequada, em especial da adubação balanceada com todos os nutrientes.

O correto manejo nutricional, com aplicação de micronutrientes, propicia o aumento da capacidade da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em fabáceas, mais especificamente em feijoeiro com o fornecimento de micronutrientes. Entre estes, o molibdênio se destaca por ser cofator integrante nas enzimas relacionadas ao metabolismo do N, a nitrogenase e a nitrato redutase, além de estar relacionado com o transporte de elétrons durante as reações bioquímicas (Oliveira et al., 1996). Diversas pesquisas indicam que a adubação molíbdica do feijoeiro resulta em plantas com melhor desenvolvimento e maior produção de vagens por planta e rendimento de sementes (Oliveira et al. 1996).

A quantidade de sistemas biológicos dependentes do níquel é muito menor em relação a outros metais, tais como ferro, cobre e zinco. Porém, o pequeno número de biomoléculas contendo níquel encontrado nos sistemas vivos é compensado pela variedade de funções que estas moléculas desempenham (Nakagaki et al., 2006).

O Ni é importante catalisador de muitas enzimas fundamentais em rotas bioquímicas em vegetais, afetando a ciclagem de C e N e também dos metabólitos secundários (Silva, 2006; Wood, 2007; Krajewska, 2009). São conhecidas como níquel dependente as enzimas: urease, monóxido de carbono desidrogenase, hidrogenase de níquel, metil coenzima M redutase, superóxido dismutase, NiFe hidrogenases, acetil coenzima A sintase, RNase-A e, provavelmente, muitas outras. O Ni é essencial às plantas, entretanto, sua função nesses organismos ainda não é totalmente conhecida (Bai et al., 2006; Nakagaki et al., 2006).

O feijão é amplamente reconhecido como alimento saudável e balanceado na nutrição humana. A cultura do feijão é um dos alicerces para o fortalecimento da agricultura familiar, sendo assim, promotora de renda e inclusão social. Atualmente outra característica marcante é a competitividade por mercado externo através de sementes especiais para exportação, promessa de garantia de renda no agronegócio do feijão brasileiro.

Diante desses aspectos, evidencia-se a necessidade do controle das quantidades de micronutrientes aplicada nas culturas. Para isto são necessários mais experimentos de adubação, principalmente visando eliminar o uso excessivo de adubos poluidores do lençol freático, permitindo respostas mais positivas e um controle mais adequado das dosagens utilizadas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade e qualidade das sementes do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Ouro Vermelho, adubadas com níquel e molibdênio, bem como, seus componentes de rendimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Molibdênio em solo e planta

Micronutrientes são nutrientes requeridos em menores quantidades pelas plantas. Entretanto apresentam a mesma importância que aqueles requeridos em maiores quantidades. Sua utilização tem se tornado uma preocupação crescente, já que a negligência em sua utilização poderá implicar em reduções significativas de produtividade. Para Guareschi e Perin (2008) o processo produtivo da agricultura brasileira dependerá de um uso mais eficiente de micronutrientes, buscando corrigir sua deficiência e elucidar sua eficiência.

O molibdênio (Mo) é um nutriente essencial para as plantas. Alguns poucos gramas de Mo por hectare são capazes de corrigir deficiências que limitam a produtividade. O molibdênio é necessário para a ativação da redutase do nitrato, uma enzima que reduz o nitrato a nitrito na planta. É também exigido para a fixação simbiótica do N, pelas bactérias dos nódulos das raízes das fabáceas, por ser cofator da nitrogenase. Os sintomas de deficiência de molibdênio consistem geralmente em clorose das folhas e diminuição no crescimento. No caso das leguminosas, a falta de Mo provoca sintomas de deficiência de N, pois diminui a fixação de N de que tais plantas necessitam para

viver. Ao contrário dos outros micronutrientes, a disponibilidade de Mo no solo aumenta em valores mais elevados de pH (Malavolta 1996).

A história do uso do molibdênio na agricultura começou na década de 1930 com a utilização deste elemento em plantações de tomate. Sua essencialidade foi descoberta por Arnon & Stout (1939).

De acordo com Polidoro (2001), os primeiros estudos que verificaram a participação e a importância do molibdênio nos processos biológicos ocorreram no início do século passado. Sua importância em sistemas biológicos foi comprovada em estudos do efeito benéfico no processo de fixação biológica de N_2 na bactéria *Azotobacter chroocum* na utilização do nitrogênio mineral (NO_3^-) por fungos do gênero *Aspergillus niger* em plantas, animais e algas verdes. O avanço das técnicas em estudos de bioquímica e fisiologia evidenciou que o molibdênio é um constituinte essencial de várias enzimas em plantas e micro-organismos que participam de processos metabólicos primários no seu ciclo de vida, principalmente a redutase do nitrato em plantas e micro-organismos e nitrogenase em micro-organismos. Estas descobertas possibilitaram a consideração do Mo como um elemento químico essencial para os organismos que apresentam estas duas enzimas em seu metabolismo, sendo considerado portanto, um nutriente.

Apesar de ter sido estudado em várias espécies de plantas, é na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) que são encontradas as informações mais detalhadas. Nesta espécie, já foi verificado o nível crítico de Mo na parte aérea e nos nódulos (Jacob - Neto, 1985; Jacob - Neto et al., 1988; Jacob - Neto e Franco, 1989), o nível crítico nas sementes (Jacob - Neto e Franco 1986), e a metodologia mais eficiente de se aumentar sua concentração na semente (Jacob - Neto, 1985, Jacob - Neto e Franco, 1988). Em plantas de soja foi relatado apenas o nível crítico de Mo nas sementes e a época mais eficiente de aplicação (Jacob - Neto et al., 1997, Jacob – Neto e Rossetto 1998).

Segundo Motta et al. (2007), entre os micronutrientes considerados essenciais para as plantas, até o momento, o molibdênio é o que se apresenta em menor concentração na matéria seca, com valores próximos a 1 mg kg^{-1} . Quando a deficiência de Mo interfere diretamente no metabolismo do N, os primeiros

sintomas são semelhantes às de deficiência de N (clorose generalizada das folhas mais velhas) seguindo para sintomas de toxidez por nitrato.

Os íons molibdênio (Mo^{+4} até Mo^{+6}) são componentes de várias enzimas, incluindo nitrato redutase e nitrogenase. (Taiz & Zeiger 2004).

Na cultura do feijoeiro, o molibdênio é um dos micronutrientes que tem despertado grande interesse dos pesquisadores, pela sua importância para a cultura e pelos resultados obtidos com a sua aplicação (Amane et al., 1994; Amane et al., 1999; Ferreira et al., 2003; Leite et al., 2007; Calonego et al., 2010).

Na planta, o Mo participa como cofator integrante nas enzimas nitrogenase, redutase do nitrato e oxidase do sulfato, e está intimamente relacionado com o transporte de elétrons durante as reações bioquímicas das plantas, sendo a fixação biológica de nitrogênio (FBN) seriamente afetada, quando ocorre deficiência de Mo (Lantmann, 2002).

No caso do feijoeiro, cujo sistema de fixação de N é de baixa eficiência, a necessidade do nutriente está mais relacionada à atividade da redutase do nitrato, enzima indispensável no aproveitamento dos nitratos absorvidos pela planta, pois é responsável pela redução do nitrato a nitrito, no processo de assimilação do N (Pessoa et al., 2000; Vieira, 2006). Além disso, a aplicação foliar de Mo aumenta a redução do acetileno e a remobilização do N durante o estágio de enchimento de vagens e os efeitos combinados desses processos resultam em maior produtividade de sementes (Vieira et al., 1998, Jesus Júnior et al., 2004).

O Mo é considerado elemento fundamental nos processos de fixação biológica e assimilação do N, pois é um elemento-chave do centro ativo da nitrogenase, enzima responsável pela fixação biológica de nitrogênio (Mengel e Kirkby, 2001) processo em que o N_2 é convertido em amônia (NH_3), forma metabolicamente utilizável pela maior parte dos organismos. Além disso, o Mo é constituinte da redutase do nitrato, enzima responsável pela primeira etapa do processo de redução do NO_3 a NH_3 . Desta forma, no caso das leguminosas, o Mo é necessário para a manutenção da atividade de duas enzimas relacionadas ao aproveitamento do N podendo, portanto, promover maior acúmulo de N nas plantas (Gualter et al., 2008) e proporcionar consideráveis aumentos de produtividade.

O molibdênio é o micronutriente menos abundante no solo e o menos exigido pelas culturas. Apresenta-se no solo na forma de minerais primários e secundários, adsorvidos a óxidos hidratados de ferro e de alumínio, na matéria orgânica e solúvel em água. Nos solos brasileiros, o teor total de molibdênio varia entre 0,5 a 5 mg dm⁻³ e o disponível varia de 0,10 a 0,25 mg dm⁻³ (Malavolta, 1980). Assim sendo, quando a quantidade de Mo presente no solo é insuficiente para garantir o adequado crescimento e desenvolvimento das culturas, se faz necessário o fornecimento de Mo às plantas. Esse fornecimento pode ser via solo, folha ou ainda através de sementes, por meio do tratamento de sementes ou por peletização.

Como as quantidades de Mo requeridas pelos cultivos são relativamente pequenas, torna-se possível sua aplicação através de “pellet” nas sementes (Berger et al., 1995; Sfredo et al., 1997). Entretanto, o “pellet” pode dificultar as trocas gasosas da semente, prejudicando sua germinação (Albino e Campo, 2001). Em trabalho realizado com feijão da cultivar Goytacazes, Fulin et al. (1999) verificaram que a aplicação foliar de Mo foi mais eficiente do que a peletização das sementes. Poucos trabalhos têm procurado estudar o fornecimento de Mo via pelets na cultura do feijoeiro.

Outra forma de se fornecer Mo para a cultura do feijoeiro é a utilização de sementes ricas em Mo. Segundo Malavolta, et al. (1997) o Mo é o único micronutriente que, dependendo da espécie e a quantidade presente na semente, permite o crescimento normal da planta. Assim, o uso de sementes produzidas em solos contendo Mo e pH em H₂O próximo a 6,0 talvez possa garantir níveis adequados do micronutriente para a cultura em plantio posterior (Gupta e Lipsett, 1981; Brodrick et al., 1995), pois tem sido verificado que o Mo acumula-se nas sementes (Pessoa et al., 2000; Ferreira et al., 2003b).

Por meio da adubação também poder-se-á aumentar o conteúdo de nutrientes nas sementes (Vieira et al., 2011). Os nutrientes armazenados na semente suprirão a plântula nos estádios iniciais durante o período de crescimento e de desenvolvimento (Ferreira et al., 2003b).

Com relação à aplicação do Mo via foliar, Vidor e Peres (1988) relataram que há rápida absorção do nutriente pelas plantas, sem haver perdas por fixação,

que ocorre quando se faz aplicação diretamente no solo. Assim, a adubação foliar é a forma mais eficiente de suprir as plantas de Mo (Jacob Neto e Rosseto 1998). Na grande maioria dos trabalhos o Mo tem sido aplicado via folha (Andrade et al, 1999; Ferreira et al., 2003; Leite et al., 2007; Calonego et al., 2010).

As plantas que dependem do processo de FBN para a sua nutrição apresentam nível crítico de Mo mais elevado dos que as que dependem exclusivamente do nitrato do solo. No caso de plantas que dependem predominantemente da FBN em sua nutrição, o fornecimento de Mo para a planta é crítico também na fase inicial do ciclo da cultura, pois sabe-se que para um bom estabelecimento da simbiose entre a planta e a bactéria diazotrófica é imprescindível que uma quantidade mínima de N-mineral seja fornecida pelo solo, para que a planta possa se estabelecer até que o processo de FBN possa ocorrer (Jacob – Neto e Franco 1996).

A utilização de um nutriente por um organismo está primariamente relacionada à capacidade do ambiente em cedê-lo na forma e quantidades proporcionais ao requerimento biológico. Especialmente no ambiente do solo, procura-se métodos analíticos ou técnicas para estimar a disponibilidade de um determinado nutriente para o organismo alvo que apresentem limites de variabilidade aceitáveis (precisão) com alta sensibilidade, capacidade de estimar valores próximos da realidade (exatidão) e serem altamente reprodutíveis (Álvares et al, 1988, citado por Polidoro 2001). Teoricamente, a melhor maneira de se estimar a disponibilidade de um nutriente no solo seria a utilização de extratores que extraíam quantidades relativas ao que é utilizado pelo organismo (planta ou micro-organismo do solo), e nesse foco, o melhor extrator seria o próprio organismo.

De acordo com Lopes (1999), os fatores que afetam a disponibilidade de Mo são:

- a- A maior disponibilidade de Mo acima de pH 7,0.
- b- Deficiências de Mo têm maior probabilidade de ocorrer em solos ácidos (pH menor que 5,5). Quando o solo recebe calagem adequada, haverá correção da deficiência, se níveis desse micronutriente forem adequados.

- c- Solos arenosos apresentam com frequência maior deficiência de Mo que os solos de textura média ou argilosa.
- d- Em solos de regiões tropicais, o cultivo sucessivo de uma determinada área pode levar à deficiência de Mo.

Considerando-se a necessidade relativamente baixa de Mo para as plantas e uma concentração média de $1 \times 10^{-6} \text{ g L}^{-1}$ deste nutriente na solução do solo, pode-se calcular que cerca de 80% da necessidade das plantas pode ser suprida para as raízes por fluxo de massa. No entanto, esta alta liberação por meio de fluxo de massa não ocorre em solos ácidos. Como consequência da forte adsorção de ânions em baixo pH, a disponibilidade de Mo pode ser limitada, o que resulta em deficiência deste micronutriente para as leguminosas (Rebafka et al., 1993).

Há indicações de que em solos ácidos tropicais, a exsudação de carboxilatos induzida por deficiência de P pode aumentar a aquisição de Mo na rizosfera via dessorção de molibdato (Teshamariam et al., 2004). O mesmo mecanismo também é responsável pelo aumento da aquisição de Mo após fornecimento por breve período de fertilizante fosfatado solúvel em água. São encontrados poucos trabalhos na literatura sobre diferenças genotípicas em termos de eficiência de Mo, as quais não foram atribuídas a um aumento da aquisição deste micronutriente, mas sim a uma melhora na retranslocação dele. Também, ainda, não se sabe se o teor geral maior de Mo e de Ni em sementes de leguminosas, comparado com o de gramíneas, é decorrente da maior aquisição ou do aumento da retranslocação dentro da planta durante a formação das sementes. Quando o estado nutricional das plantas em termos de P é baixo, o que é um fenômeno bastante difundido em solos ácidos tropicais, a absorção radicular de molibdato pode ser diretamente aumentada, presumivelmente pelo transportador de fosfato da membrana (Heuwinkel et al., 1992). Além disso, o molibdato pode também ser absorvido pelo transportador de sulfato da membrana (Mendel e Hänsch, 2002).

Até o presente momento, nenhum transportador específico de Mo foi identificado geneticamente; entretanto, é bastante conhecido que a absorção de Mo como ânion por meio de um co-transporte de próton é promovida em pH baixo

(Stout et al., 1951), o que contrasta com a disponibilidade deste micronutriente nos solos. Mas esta absorção de Mo promovida por baixo pH, como estudado em um experimento com solução nutritiva, pode ser facilmente revertida em estudos de longo prazo como consequência da polimerização do molibdato em polimolibdato, o que, preferencialmente, ocorre em baixo pH, (Trobisch, 1966). Além disso, uma forte competição entre a absorção de sulfato e a de molibdato pode intensificar a deficiência de Mo em solos ácidos após a aplicação de fertilizantes contendo sulfato (Rebafka et al., 1993). Este forte efeito depressor do sulfato sobre a absorção de Mo também pode ser usado para curar problemas de toxicidade deste micronutriente em animais (molibdenose), como observado na parte oeste dos Estados Unidos, na Austrália e na Nova Zelândia (Marschner, 1995). A translocação das raízes para as brotações via xilema é conduzida ou pela corrente transpiratória ou por pressão radicular, e raramente é uma etapa limitante, exceto em mutantes que apresentam defeito no carregamento do xilema, como por exemplo, para B e Si (Noguchi et al., 2000; MA et al., 2004).

No entanto, para tecidos em crescimento, nos quais a taxa de transpiração é baixa, tais como os ápices de brotações jovens, as flores e os frutos jovens, a distribuição via floema constitui importante processo de transporte. Assim, a troca de micronutrientes via células de transferência no xilema/floema ou o carregamento do floema em folhas mais velhas e a mobilidade no floema para a retranslocação devem ser considerados na nutrição de tecidos jovens de plantas. Além da remobilização de micronutrientes específicos em uma forma de transporte prontamente móvel em folhas mais velhas, o carregamento do floema e a quelação na seiva do floema podem ser etapas limitantes da taxa de transporte. Como mostrado por Takahashi et al. (2003), usando uma planta transgênica de fumo, a quelação de metais por nicotianamida foi identificada como fator importante na retranslocação de micronutrientes catiônicos.

Não há muitas informações sobre a mobilidade do Mo dentro das plantas e os poucos relatos existentes ainda são contraditórios. Em leguminosas parece que há uma alta taxa de retranslocação deste micronutriente durante o estágio de enchimento de sementes, para garantir um alto armazenamento de Mo nas mesmas. As diferenças relatadas em termos de eficiência de Mo em cultivares de

feijão fava (*Vicia faba*) podem ser atribuídas a diferentes níveis de acúmulo de Mo nos nódulos e a diferentes taxas de retranslocação das raízes para as vagens e dessas para as sementes durante o estágio(ou estágio?) de amadurecimento de sementes (Brodrick e Giller, 1991).

2.2. Molibdênio e nutrição mineral

Em diversos trabalhos, observa-se aumento de produtividade do feijoeiro com o fornecimento de molibdênio via foliar (Berger et al., 1996; Coelho et al., 2001; Ascoli et al., 2008). Pessoa et al. (2000) trabalhando com a cultivar Ouro negro alcançaram um aumento de 200% de produtividade com a aplicação da dose de 80,3 g ha⁻¹ de molibdato de amônio, em relação à testemunha. De forma semelhante, Rocha et al. (2011) obtiveram a produtividade máxima da cultura na dose estimada de 242 g ha⁻¹, que proporcionou um incremento de produtividade de 19,8% em relação à testemunha. Por outro lado Andrade et al. (1999) e Nascimento et al. (2004) não observaram incremento na produtividade das cultivares Iapar 57, Iapar 72 e IAC Carioca Eté, após a aplicação do molibdênio.

De acordo com Pires et al. (2002), as respostas das plantas à aplicação de molibdênio têm se mostrado variáveis entre as espécies e mesmo entre os cultivares da mesma espécie. Tal comportamento é consequência das variações na capacidade de absorção, translocação, acúmulo nos tecidos e utilização do nutriente pela planta. Entretanto, em termos gerais, o feijoeiro responde positivamente à aplicação de molibdênio, proporcionando incrementos à produção em resposta à aplicação do micronutriente.

Ascoli et al. (2008) avaliaram o efeito de doses e épocas de aplicação de Mo, por via foliar, na produtividade e qualidade fisiológica de sementes do feijoeiro comum em cultivo irrigado no inverno, em solo arenoso de Cerrado. Esses autores verificaram que a aplicação foliar de Mo aumentou a produtividade de sementes do feijoeiro Pérola.

Calonego et al. (2010) observaram que a adubação molíbdica também proporcionou resposta positiva na produtividade de sementes do feijoeiro cultivar

carioca precoce, resultando num incremento de 26% superior aos 17% obtidos por Coelho et al. (2001) com a aplicação de 75 g ha⁻¹ de Mo.

A aplicação de Mo está associada também a um aumento na atividade da nitrogenase e da redutase do nitrato (Amane et al., 1999). Coelho et al. (2001) verificaram que houve incremento de 41 % na atividade da redutase do nitrato após a aplicação de Mo. Por outro lado Andrade et al. (1999) e Nascimento et al. (2004) não observaram efeito do Mo sobre a atividade da nitrogenase e redutase do nitrato.

Andrade et al. (1999) verificaram, também, que as doses aplicadas de 0, 30, 60, 90 e 120 g ha⁻¹ de Mo não influenciaram a resposta das cultivares Iapar 57 e Iapar 72. Resultados semelhantes foram obtidos por Diniz et al. (1998) e Rodrigues et al. (1996), que não encontraram resposta significativa à adubação foliar molíbdica quando o pH estava em 5,8, mas com o valor do pH em 4,7, encontraram efeito significativo de Mo. De maneira semelhante, Nascimento et al. (2004) também não observaram efeito da dose de 80 g ha⁻¹ Mo sobre o feijoeiro IAC Carioca Eté.

Segundo Jacob-Neto e Franco (1986) o conteúdo de molibdênio considerado como suficiente para o crescimento do feijoeiro é de 3,51 µg semente⁻¹. Tal conteúdo foi obtido por esses autores com a aplicação de 200 g ha⁻¹ de molibdênio, via foliar, parcelado em cinco aplicações. Brodrick et al. (1992) observaram que plantas originadas de sementes com conteúdos de Mo entre 1,64 e 3,57 µg semente⁻¹, apresentaram maior peso dos nódulos, maior acúmulo de N e maior produção de sementes.

Por outro lado, em experimento realizado por Ferreira et al. (2003b) observou-se que na concentração de Mo nas folhas e nas sementes, o conteúdo de molibdênio nas sementes e a produtividade de sementes não foram influenciados, significativamente, pelo conteúdo de Mo nas sementes plantadas. O conteúdo máximo de molibdênio por semente obtido foi de 0,535 µg semente⁻¹.

Kubota et al. (2008) observaram que a aplicação de 120 g ha⁻¹ de Mo aos 45 e 60 DAE promoveu uma redução na nodulação das raízes das plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo no estágio de enchimento das vagens, com menor massa e número de nódulos aos 45 DAE e menor número de nódulos

aos 60 DAE nos cultivares Carioca e Manteigão. Segundo os autores é provável que nas plantas originadas de sementes enriquecidas com Mo tenha sido induzida maior translocação de fotoassimilados para as vagens, causando uma interrupção na formação de novos nódulos e redução na nodulação em comparação às plantas originadas de sementes com baixo Mo. De qualquer forma, a aplicação de Mo em um estágio mais tardio favoreceu a um maior acúmulo de Mo, chegando a conteúdos de Mo entre 2,3 e 3,5 $\mu\text{g semente}^{-1}$, valores próximos ao conteúdo de 3,5 $\mu\text{g semente}^{-1}$ relatado por Jacob Neto e Franco (1986).

Segundo Leite et al. (2009) os resultados disponíveis apontam para a utilização de doses elevadas para que se possam produzir sementes ricas em Mo. Assim, o parcelamento dessas doses torna-se fundamental para evitarem-se injúrias à planta, não havendo, porém, recomendações precisas para esse parcelamento. Além disso, esses autores observaram que a utilização de sementes com alto teor de Mo influenciou a qualidade fisiológica, com retardo na germinação das sementes.

2.3. Doses estimadas de Mo para aplicação na cultura do feijão

A tabela 01 apresenta as doses estimadas que têm sido encontradas como aquelas que proporcionariam a maior produtividade do feijoeiro. De forma geral, pode-se inferir que a dose indicada se encontra entre 70 a 100 g ha^{-1} de Mo. Porém Amane et al. (1999) verificaram que a dose necessária de Mo para alcançar a produtividade máxima dependia da quantidade de nitrogênio aplicada. Quando não foi aplicado nitrogênio em cobertura (NC), a produtividade máxima foi obtida com 102 g ha^{-1} de Mo; com 30 kg ha^{-1} de NC, a dose de Mo necessária para o rendimento máximo foi de 92 g ha^{-1} ; com 60 kg ha^{-1} de NC, de 82 g ha^{-1} de Mo; e quando se usou a dose de 90 kg ha^{-1} de NC, a dose de Mo baixou para 72 g ha^{-1} . Esses autores verificaram ainda, que sem a adubação nitrogenada, a

aplicação de 80 g ha⁻¹ aumentou o rendimento em 108%, ao passo que a aplicação da NC com Mo, trouxeram um aumento de 318% no rendimento.

Tabela 1. Doses estimadas de Mo encontradas na literatura que proporcionaram o maior rendimento para a cultura do feijoeiro.

Autores	Dose estimada (g ha⁻¹)
Rodrigues et al. (1986)	76 a 81
Berger et al. (1996)	80 a 90
Coelho et al. (1998)	50
Amane et al. (1999)	92
Pessoa et al. (2000)	80,3
Pessoa et al. (2001)	80
Coelho et al. (2001)	80
Ferreira et al. (2003a)	83,9
Ferreira et al. (2003b)	83,9
Silva et al. (2003)	54
Nascimento et al. (2009)	81
Calonego et al. (2010)	78,96

2.4. Épocas estimadas para aplicação de Mo na cultura do feijão

A melhor época de aplicação do molibdênio na cultura do feijoeiro, segundo Berger et al. (1996), vai do 14º dia até o 28º dia após a emergência (DAE). Apesar de Guareschi e Perin (2008) terem aplicado o molibdênio aos 10 DAE, na maioria dos trabalhos têm se observado que o molibdênio tem sido aplicado dentro da faixa proposta por Berger et al. (1996), mais precisamente próximo ao limite superior da faixa, como se observam na tabela 02.

Tabela 02. Épocas de aplicação da adubação molíbdica na cultura do feijoeiro.

Autores	Épocas de aplicação
Guareschi e Perim (2008)	10 DAE
Coelho et al (2001)	20 DAE
Amane et al (1999)	22 DAE
Rodrigues et al (1986)	22 DAE
Andrade et al (1999)	22 DAE
Coelho et al (1998)	22 DAE
Pessoa et al (2000)	22 DAE
Pessoa et al (2001)	22 DAE
Ferreira et al (2002)	22 DAE
Ferreira et al (2003)	22 DAE
Ferreira et al (2003 b)	25 DAE
Calonego et al (2010)	25 DAE
Vieira et al (2000)	30 DAE

Ascoli et al. (2008) realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar o efeito de doses e épocas de aplicação de Mo sobre a cultivar Pérola e verificaram que a aplicação do Mo aos 15 DAE ou 26 DAE não afetou a produtividade do feijoeiro.

Segundo Malavolta (2006), as principais fontes de molibdênio são: o molibdato de sódio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que contém 39% de Mo e o molibdato de amônio $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ que tem 54% de Mo.

Embora as plantas necessitem de apenas pequenas quantidades de molibdênio, alguns solos suprem níveis inadequados. Pequenas adições de molibdênio nesses solos podem melhorar bastante o crescimento de culturas e forrageiras a um custo desprezível (Taiz & Zeiger 2004).

Em Viçosa e Coimbra, na Zona da Mata de Minas Gerais, conduziram-se experimentos sobre doses de molibdênio na cultura do feijão. Constatou-se que a dose de Mo que permitiu as mais altas produtividades foi de 80 a 90 g ha⁻¹. A época mais propícia para sua aplicação foi de 14 a 28 dias após a emergência dos feijoeiros (Berger, 1996).

Também em Coimbra MG, Coelho et al. (1998), avaliando os efeitos da produtividade da cultura do feijão em monocultivo e em consórcio com o milho,

concluíram considerando o monocultivo, que o Mo trouxe aumento de 30% na produtividade. No sistema de consórcio, a aplicação de N e Mo não resultou em acréscimo de produtividade. Os autores verificaram que o aumento da produtividade no monocultivo estava relacionado com a maior atividade da redutase do nitrato e concentração de N orgânico nos tecidos da parte aérea das plantas, e também, que a não aplicação de N com ou sem Mo tendeu a aumentar a concentração de ureídeos, ou seja, a melhorar a fixação de N_2 .

Utilizando fontes e doses de molibdênio via foliar em duas cultivares de feijoeiro, Silva et al. (2003) verificaram que as fontes de Mo não influenciaram o rendimento de sementes e seus componentes, e que as doses crescentes de Mo aumentaram linearmente o rendimento de sementes até a dose de 54 g ha^{-1} de Mo.

Os mesmos autores, estudando a aplicação simultânea de molibdênio com alguns defensivos no feijoeiro, concluíram pela análise conjunta dos resultados que o rendimento de sementes e o número de vagens por planta dos tratamentos com aplicação de Mo não diferiram entre si e superaram a testemunha em pelo menos 50%, inferindo-se que houve efeito positivo do micronutriente e que as misturas empregadas não interferiram na sua atuação.

Fullin et al. (1999) avaliaram o efeito da aplicação de N associado ou não à aplicação de Mo no feijoeiro cultivar Goytacazes, sob irrigação, em Latossolo Vermelho-Amarelo coeso distrófico de Linhares, ES. As doses de N em forma de uréia, foram de 0 e 10 kg ha^{-1} na semeadura e 0 e 40 kg ha^{-1} em cobertura. Para o Mo foi aplicado, 0 e 20 g ha^{-1} na peletização das sementes e 0 e 20 g ha^{-1} via foliar, ambos como molibdato de amônio. A maior produtividade de sementes foi obtida com a aplicação de 10 kg ha^{-1} e 40 kg ha^{-1} de N no plantio e em cobertura, respectivamente, associados a 20 g ha^{-1} de Mo via foliar.

Trabalhando com doses de Mo em milho comum e milho pipoca Teixeira et al (2006), concluíram que para o milho comum a altura das plantas e o peso de 1000 sementes, foram significativamente influenciadas pela aplicação de doses de molibdênio, e para o milho pipoca o teor de Mo nas folhas e a produtividade das sementes foi significativamente influenciada pela aplicação do micronutriente.

O efeito de doses e épocas de aplicação de molibdênio, por via foliar, na produtividade e qualidade fisiológica de sementes do feijoeiro 'Pérola' irrigado, cultivado em Neossolo Quartizarênico foi constatado por Ascoli et al. (2008). Os autores concluíram que a aplicação de Mo por via foliar aumentou a produtividade de sementes e a matéria seca da parte aérea de plântulas do feijoeiro irrigado, independente da época de aplicação (15 ou 26 DAE). A germinação das sementes do feijoeiro foi aumentada pela aplicação de Mo foliar aos 26 dias após a emergência. Na avaliação do vigor das sementes de feijão, pelo teste de primeira contagem, constatou-se efeito negativo da aplicação de Mo via foliar. A aplicação foliar de Mo aumentou a produtividade do feijoeiro e promoveu a obtenção de sementes que originaram plântulas com maior desenvolvimento inicial.

Rocha (2008), estudando o efeito de doses de molibdênio na cultura do feijoeiro (0,0, 40, 80, 160, e 320 g ha⁻¹ como molibdato de sódio via foliar aos 25 DAE) em sistemas de plantio direto e convencional em duas épocas, com a cultivar Ouro Vermelho, concluiu que o número de vagens por m² aumentou 17 % em relação à testemunha com a dose estimada de 181 g ha⁻¹ de Mo, enquanto a produtividade das sementes aumentou 19,8 % com a dose estimada de 242 g ha⁻¹ de Mo.

2.5. Níquel em solo e planta

Aproximadamente 95% da composição química das plantas, expressa em matéria seca, é constituída de carbono, oxigênio e hidrogênio, enquanto os 5% restantes advêm dos nutrientes minerais separados em duas categorias: os macronutrientes, como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre e os micronutrientes, como o cloro, zinco, boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio níquel (Favorim e Marini, 2003).

O Ni não apresenta uma química em catálise ácido/base que não possa ser substituída pela do zinco, além disso, a química redox do Ni, numa atmosfera dominada por O₂, é muito vulnerável pelo que estas funções parecem ter sido

transferidas para o ferro, cobre e manganês (Costa e Sousa, 2002), resultando pouca abrangência nos atuais estudos de nutrição a respeito da essencialidade do níquel, tomando-se que a sua ação é pouco significativa no desenvolvimento das plantas, e quando se faz é de forma a causar toxidez em altas concentrações.

O Ni é um metal da 1ª série de transição bastante rico em elétrons, pertence à família VIII, sendo sua massa atômica 59 e seu número atômico 28, configuração eletrônica [Ar] 3d⁸ 4s², termo 3F⁴, massa molecular 8.6934, estado padrão de eletronegatividade de Pauling igual a 1,91 ($\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni (s)}$) $E^0 = 10,24\text{V}$ (Costa e Sousa (2002)).

A crosta terrestre tem em média 75mg de Ni por kg. As concentrações de Ni no solo dependem das rochas de origem, sendo que as rochas ígneas ultramáficas têm uma média de 2.000 mg kg⁻¹, as ígneas basálticas 140 mg kg⁻¹, as ígneas graníticas 8 mg kg⁻¹, folhelhos e argilitos 68 mg kg⁻¹, folhelhos pretos 50 mg kg⁻¹, calcários 20 mg kg⁻¹ e arenitos 2 mg kg⁻¹. As outras fontes de níquel são os adubos minerais. As rochas fosfáticas têm entre 10 e 117 mg kg⁻¹, super fosfato simples 0 e 38 mg kg⁻¹, superfosfato triplo 24 mg kg⁻¹, termosfosfato yoorim 3.300 mg kg⁻¹, calcário 20 mg kg⁻¹, gesso 2 mg kg⁻¹, lodo de esgoto 80 a 190 mg kg⁻¹. A queima de combustíveis fósseis e de óleos residuais é a maior fonte antropogênica de Ni, chegando a 26.700 toneladas de Ni ano⁻¹ (Malavolta 2006).

Atualmente, listam-se como micronutrientes para as plantas o boro, o cloro, o cobre, o ferro, o manganês, o molibdênio, o zinco e o níquel. Quando presentes em concentrações relativamente altas na solução do solo, esses micronutrientes podem alcançar níveis tóxicos às plantas e aos microrganismos. O níquel, entre outros, podem causar grande toxicidade. De acordo com Mc Bride (1994), o níquel como todo metal pesado é fitotóxico. Nos últimos 55 anos a produção de metais tem aumentado, destacando-se o níquel em primeiro lugar (Camargo, 2002).

O Ni é quimicamente relacionado com o Fe e Co. Seu estado de oxidação preferencial em sistemas biológicos é Ni⁺², mas também pode existir nos estados de Ni⁺¹ e Ni⁺³ (Commack et al, 1988).

De acordo com Marschner (1995), o Ni é um elemento traço essencial, uma vez que nos sistemas biológicos um número de enzimas está bem definido nos quais o Ni é o componente metálico necessário para a atividade. Nessas enzimas o Ni é coordenado tanto para O-ligante, como pra N-ligantes, S-ligantes (cisteína-resíduos, hidrogenases) (urease), ou N-ligantes de estruturas tetrapirrol (Marschner, 1995). Ainda segundo o mesmo autor, o Ni também atua participando como um componente metabólico na urease e muitas hidrogenases, e também para bactérias acetogênicas e metanogênicas (Ankel-Fuchs e Thauer, 1988).

Dentre as enzimas nas quais o Ni é componente, cabe citar: a enzima Superóxido dismutase (SOD), a metil coenzima M redutase (MCR) a dehidrogenase de monóxido de carbono (CODH), a acetil coenzima a sintase (ACS) e a NiFe hidrogenases (H_2 ase) (Costa e Sousa, 2002).

Segundo Malavolta (2006), o níquel nas plantas superiores é essencial para a ativação da urease, enzima envolvida no metabolismo do nitrogênio, e que sem o níquel, níveis tóxicos de uréia se acumulam, resultando em lesões necróticas.

A urease é a única enzima que se conhece em plantas superiores que contém níquel, embora micro-organismos fixadores de nitrogênio exijam níquel para a enzima que reprocessa parte do gás hidrogênio gerado durante a fixação. Plantas deficientes em níquel acumulam uréia em suas folhas, e, em consequência apresentam necrose nos ápices foliares (Taiz & Zeiger 2004).

O níquel é metal componente da urease, além de ter função catalítica na enzima. Sua concentração nos vegetais varia de 1 a 10 $\mu g\ g^{-1}$ de matéria seca apresentando grandes diferenças entre as espécies. Em solos que recebem resíduos ricos desse metal, ocorre com muito mais frequência a preocupação com o seu nível de toxidez (Marschner 1995).

Segundo Malavolta (2006), a essencialidade do níquel foi demonstrada por Eskew et al. (1983); atuando como ativador da urease, enzima universal nas plantas, que desdobra a uréia em gás carbônico e amônia. O elemento foi promovido de tóxico para essencial. O sintoma chamado “orelha-de-rato” em pecan (*Carya illinoensis*) é conhecido nos Estados Unidos desde 1918: a ponta

das folhas novas fica arredondada e com pontos escuros, o limbo se encurva, tornando-as parecidas com a orelha do roedor.

Malavolta (2006) destaca ainda, que as principais fontes para aplicação de Ni via folha é: o cloreto de níquel $\text{NiCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ com 26% de Ni, e o sulfato de níquel, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, que tem 21% de Ni.

Adicionalmente, existem proteínas que servem para "entregar" e "montar" os íons níquel nos seus sítios ativos em algumas dessas proteínas. Estas metaloenzimas são todas ativas para redox exceto a urease. Só nos últimos anos tem sido revelada a estrutura destas proteínas (Costa e Sousa, 2002).

O Ni é absorvido pelas plantas como Ni^{+2} , num processo multifásico (mais de uma isoterma para descrever a velocidade de absorção em função das concentrações externas). É transportado no xilema como complexos ou quelatos orgânicos amônicos (Malavolta, 1997).

Existem funções para as quais os íons metálicos se encontram aptos, particularmente no caso da transferência eletrônica. Esta é essencial para a conservação de energia a curto prazo em organismos, sendo a maioria dependente de centros metálicos com capacidade redox. Encontram-se bastantes pares redox nos organismos, alguns deles envolvendo estados de oxidação incomuns para condições fisiológicas. As modificações específicas provocadas pelos bioligantes são responsáveis pela estabilização desses estados de oxidação incomuns. Assim, no Ni admite-se a existência, em condições fisiológicas, de estados de oxidação I, II e III (Costa e Sousa, 2002).

Há somente alguns poucos relatos sobre inadequada disponibilidade de Ni em solos, com sintomas de deficiência deste nutriente em microrganismos ou em plantas (Dalton et al., 1985; Wood et al., 2003). Compostos quelantes na solução do solo e exsudatos de raiz, tais como fitosideróforos e queladores sintéticos, podem aumentar a mobilização de Ni (Awad e Römheld, 2000). A absorção de Ni quelado pelas raízes é evidentemente mais baixa do que a de Ni^{+2} ; um fenómeno semelhante é relatado também para Zn. Alguns transportadores de Ni, tais como canais CNGC ou transportador da membrana MTP1 são, provavelmente, responsáveis pela desintoxicação de Ni em plantas hiperacumuladoras, tal como *Thlaspi goesingense* (Hall e Williams, 2003); não há

informações disponíveis sobre transportadores específicos para absorção radicular de Ni.

Pouco se sabe a respeito da mobilidade do Ni dentro das plantas. Entretanto, o grande acúmulo específico de Ni em sementes, semelhante ao que ocorre para Mo, provavelmente requer alta regulação da mobilização e da retranslocação de Ni das folhas mais velhas e durante o estágio de enchimento de sementes.

2.6. Níquel e nutrição mineral

Adubos minerais e corretivos fornecedores de macronutrientes primários possuem quantidades variáveis de micronutrientes, como mostra a tabela 3 adaptada de Malavolta (1994).

Tabela 03. Micronutrientes nos adubos minerais

Micronutriente	Nitrogenados	Fosfatados	Potássicos
	----- g t ⁻¹ -----		
Boro (B)	0 – 800	0 – 3.000	0 -100
Cobalto (Co)	0 – 110	0 – 8	0 – 23
Cobre (Cu)	0 – 800	0 – 300	7 – 120
Ferro (Fe)	-	6.565 – 38.410	-
Manganês (Mn)	0 – 50	0 – 80	90 – 3.915
Molibdênio (Mo)	0 – 4	0,1 – 0,2	3 – 15
Níquel (Ni)	0 – 34	24 – 3.300	0 – 5
Zinco (Zn)	0 – 50	0 – 8	78 – 810

A tabela 04, também retirada de Malavolta (1994), mostra o teor de micronutrientes encontrados em corretivos de acidez. De acordo com as doses usadas, geralmente ton/ha, a contribuição pode ter significado prático.

Tabela 04. Micronutrientes em corretivos da acidez usados no Brasil.

Elemento	Calcário	Gesso
	----- g t ⁻¹ -----	
Boro (B)	30	3
Cobalto (Co)	25	2
Cobre (Cu)	26	8
Ferro (Fe)	4.599	670
Manganês (Mn)	334	15
Molibdênio (Mo)	1	16
Níquel (Ni)	19	2
Zinco (Zn)	46	9

A tabela 05 mostra os teores de micronutrientes em alguns adubos orgânicos.

Tabela 05. Faixa de variação nos teores.

Elemento	Lodo de esgoto	Esterco de curral	Composto de lixo	Torta oleaginosa
	----- g t ⁻¹ matéria seca -----			
Boro (B)	-	-	48	0 - 80
Cobalto (Co)	10	-	-	0 - 5
Cobre (Cu)	250	200	110	200
Ferro (Fe)	16.000	2.500	-	-
Manganês (Mn)	500	400	120	30 - 130
Molibdênio (Mo)	-	-	2 – 30	-
Níquel (Ni)	150	-	-	-
Zinco (Zn)	3.000	800	350	30

Fonte: Berton (1992); Malavolta (1994).

De acordo com Uren (1992), cerca de 0,001 % do Ni total do solo, está na solução do solo à capacidade de campo, e o restante distribuído entre as fases orgânicas insolúveis e inorgânicas, dentro de cada uma dessas pode haver fases oclusas como adsorvidas.

Por se tratar de um elemento siderófilo, o níquel encontra-se associado com o ferro metálico, podendo substituí-lo em minerais ferro-magnesianos, pela associação com carbonatos, fosfatos e silicatos, apresentando ainda, grande afinidade pelo enxofre (Antón, 1990).

Conforme Reis (2002) pode haver uma informação errônea a respeito do Ni no solo, uma vez que o metal pode permanecer nas amostras até a extração da fração residual quanto à sua distribuição nas diversas frações. Apesar de alguns trabalhos com extração sequencial encontrarem o Ni preferencialmente retido na fração residual, deve-se considerar a possibilidade dos extratores utilizados no procedimento não extraírem com eficiência o metal da fração orgânica e óxidos. Como para os demais elementos, as formas de Ni no solo, assim como sua solubilidade e disponibilidade são influenciadas por propriedades como pH, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica do solo. Quanto ao pH, há uma correlação indireta com a solubilidade e disponibilidade da maioria dos metais no solo entre eles o Ni. O íon Ni^{+2} hidratado é a mais provável forma encontrada na solução do solo, porém sua predominância tenderá a diminuir com o aumento do pH e com a atividade de ligantes disponíveis para formar complexos (Uren, 1992).

Diversos autores citados por Antón (1990) observaram, ao utilizar trigo como planta indicadora, que o teor de Ni que reduz o rendimento em 50% foi de 195 mg kg^{-1} em solos ácidos e 510 mg kg^{-1} de Ni em solos alcalinos. Sua indisponibilidade em alto pH ocorre pelo aumento da retenção ou pela formação de precipitados, ao atingir um pH alcalino formando fosfatos de níquel. Em função da textura do solo, quanto maior o teor de argila maior a quantidade de Ni total. Observa-se, além da textura, a influência da mineralogia, uma vez que Egreja Filho (2000), em experimentos de adsorção de metais à superfície de minerais sintetizados, observou forte afinidade do Ni a goethita e a gibbsita e cita que na goethita ocorre freqüentemente a difusão do metal no interior do mineral devido à

falhas ou poros na sua superfície. Ainda de acordo com Egreja filho (2000) citando Schwertmann et al. (1985), o Ni é alojado no interior do cristal e pode tornar-se menos disponível ainda, devido reprecipitações de íons de Fe^{+3} que selam os poros e falhas do cristal de goethita.

Presente em uma diversidade de plantas, o Ni foi descrito em 1975 como componente da enzima urease, despertando na comunidade científica o interesse acerca da sua função em plantas superiores. Desde então, pesquisas relatam respostas à fertilização com Ni sob condições de campo, soluções nutritivas e meio de cultura de tecido.

Brown et al. (1987) concluíram que a deficiência de Ni tem um largo alcance de efeitos no crescimento e senescência da planta, metabolismo do N e absorção de Fe, havendo indicações que o Ni possa ter função na síntese de fitoalexinas e resistência da planta a doenças, sendo que baixos níveis de Ni são benéficos para o crescimento das plantas. Em trabalho publicado na revista *Plant Physiology*, afirmam que: “de acordo com alguns estudos realizados a respeito do Ni, chegou-se a conclusão de que ele satisfaz os requerimentos para ser classificado como nutriente mineral para as plantas superiores, considerando-se que algumas das funções do Ni estão agora claramente definidas, e plantas não podem completar seus ciclos de vida sem suprimento de Ni adequados, fazendo-se necessária sua inclusão na lista de micronutrientes”.

Brown et al. (1987) avaliando três gerações de plantas de cevada, verificaram que as taxas de germinação das sementes dependeram dos níveis de Ni fornecidos para as plantas maternas. Plantas cultivadas sem adição de Ni na solução nutritiva produziram sementes com porcentagem de germinação muito baixa, enquanto que plantas cultivadas com $1,0 \mu\text{M}$ de Ni na solução nutritiva produziram sementes com porcentagem de germinação superior a 95% (Figura 1).

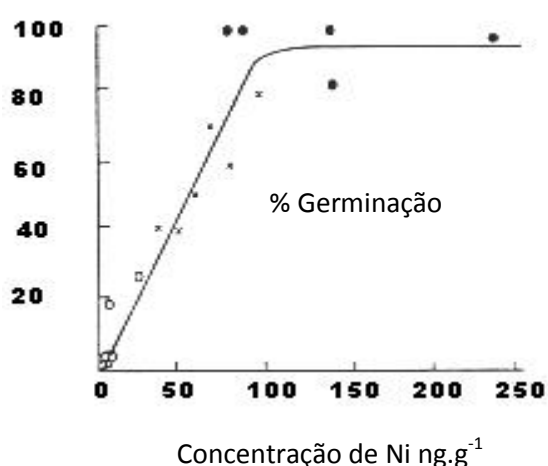


Figura 01. Efeito da Concentração de Ni na porcentagem de germinação em sementes de cevada.

Fonte: Brown et al (1987).

A viabilidade de sementes com deficiências de Ni não poderia ser recuperada por embebição das sementes em solução contendo Ni, demonstrando que o Ni é essencial para o desenvolvimento normal das sementes nas plantas matrizes e assim, para completar o ciclo de vida das plantas de cevada (Brown et al., 1987).

Neves et al. (2007) adicionaram níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro em seis doses (0; 0,0005; 0,05; 0,1; 0,5 e 1,0 mmol L⁻¹, usando como fonte de Ni o NiSO₄.6H₂O). Esses autores observaram que, em todas medidas analisadas (matéria seca das folhas, caule, raízes e total), houve resposta positiva das mudas de umbuzeiro às menores doses de Ni na solução nutritiva, enquanto nas maiores concentrações as mudas acumularam menos matéria seca, indicando efeito tóxico do elemento. Sintomas de toxidez foram observados nas mudas do umbuzeiro, caracterizando-se por clorose generalizada das folhas, seguida de necrose e abscisão. Os sintomas foram observados nas plantas cultivadas em 0,1, 0,5 e 1,0 mmol L⁻¹ de Ni.

Paiva et al. (2001) trabalharam com mudas de aroeira conduzidas em solução nutritiva de Hoagland e Arnon submetidas a doses crescentes de Ni²⁺: 0; 2,5; 5; 10; 15 e 20 mg L⁻¹ de Ni²⁺ por um período de 40 dias. A sintomatologia visual de toxidez de níquel foi observada principalmente nas doses 15 e 20 mg L⁻¹ de Ni²⁺, caracterizando-se por uma coloração avermelhada iniciando pelas

nervuras e evoluindo para todo o limbo das folhas mais velhas, com posterior necrose e desfolhamento. Houve também diminuição do tamanho de folhas e redução no crescimento das plantas. As plantas submetidas ao tratamento 20 mg L⁻¹ de Ni²⁺ morreram ao longo do experimento.

Paiva et al. (2002), trabalhando também com solução nutritiva em mudas de cedro para verificar o teor de nutrientes nas mudas, com doses crescentes de níquel, concluíram que com o aumento da dose de Ni o teor de P aumenta, o de K e de S praticamente não são afetados, ao passo que o teor de Ca e de Mg são reduzidos. Os teores de Cu, Fe e Mn, de modo geral, são reduzidos com o aumento das doses de níquel aplicadas e o teor de Zn praticamente não é afetado. O teor de Ni na matéria seca das mudas de cedro, independentemente da parte da planta analisada, cresce com o aumento da dose deste metal na solução nutritiva chegando a teores superiores aos considerados tóxicos para a maioria das plantas, e que o níquel é um elemento móvel nas mudas de cedro.

Estudando o efeito de doses de níquel em feijoeiro caupi cultivado em dois tipos de solo com cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L⁻¹ de Ni), aplicados via foliar na forma de cloreto de níquel hexahidratado, Campanharo et al (2010) concluíram que a aplicação foliar de Ni aumentou os teores do elemento em ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens do feijoeiro caupi, indicando grande mobilidade deste micronutriente na planta, mas não alterou o teor de uréia, indicando ausência de efeito sobre a atividade da enzima urease. A produção de massa seca da parte aérea das plantas e os teores dos demais nutrientes avaliados não foram afetados pela aplicação de Ni via foliar. As plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maior crescimento e maiores teores de uréia em folhas maduras e K em folhas maduras, folhas jovens e ramos.

Em trabalho com feijoeiro cultivar Princesa, cultivado em Argissolo e Neossolo submetido à aplicação de níquel, Campanharo (2010) verificou que as doses de Ni aplicadas promoveram sintomas de toxidez apenas nas folhas primárias do feijoeiro, caracterizados por pequenas manchas bruno avermelhadas que não progrediram ao longo do tempo e não interferiram no crescimento das plantas. A aplicação foliar de Ni aumentou os teores deste micronutriente em ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens do feijoeiro 'Princesa', indicando

grande mobilidade deste micronutriente na planta, mas não alterou o teor de uréia, indicando ausência de efeito sobre a atividade da enzima urease. A produção de massa seca da parte aérea das plantas e os teores dos demais nutrientes avaliados não foram afetados pela aplicação de Ni via foliar. As plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maior crescimento e maiores teores de K, B e Cu em folhas maduras, folhas jovens e ramos e de Ca e Zn em folhas maduras e ramos.

Campanharo (2010a), estudando o efeito do níquel na hidrólise da uréia, crescimento e composição mineral do feijoeiro cultivado em Argissolo e Neossolo, concluiu que os teores de uréia no tecido foliar diminuíram em resposta ao aumento das doses de Ni e do tempo após a aplicação de uréia, indicando aumento da atividade da enzima urease. O aumento das doses de Ni aplicadas nas folhas do feijoeiro promoveu redução dos teores foliares de N orgânico e de Mn, mas não afetou os teores dos demais nutrientes, com exceção do Ni, que sofreu aumento; não alterou o crescimento das plantas, embora tenha causado, inicialmente, sintomas de toxidez nas folhas. Os teores de P, K, Mg, Cl, B, Fe, Ni e Zn foram maiores no Argissolo; os de N, Ca, S e Mn não diferiram do Neossolo.

Berton et al. (2006) ao avaliarem o efeito da adição de Ni ao solo (0, 2,3, 10,5, 47 e 210 mg kg⁻¹), na presença e ausência de calcário, sobre o desenvolvimento do feijoeiro; a fitodisponibilidade de Ni e algumas características biológicas do solo, verificaram que a dose de Ni de 210 mg kg⁻¹ causou a morte de todas as plantas, tanto na presença como na ausência de calcário. Houve aumento da produção de sementes de feijão no tratamento que recebeu calcário. A concentração de Ni das sementes aumentou com o incremento de Ni no solo, ultrapassando o limite máximo permitido de 5 mg kg⁻¹ de matéria fresca, na dose de 2,3 mg kg⁻¹, indicando que a aplicação de calcário não foi suficiente para reduzir os teores de Ni no grão de feijão a níveis apropriados para o consumo. Observou-se diminuição da biomassa microbiana do solo nos tratamentos com altas concentrações de Ni.

2.7. Plantas acumuladoras de níquel

Determinadas plantas possuem a capacidade de concentrar teores elevados de certos elementos. Tal propriedade tem relevante importância na recuperação de solos com elevada concentração de metais ou no estudo do metabolismo de organismos vivos, uma vez que os metais encontram-se dispersos na solução do solo sob formas de íons metálicos livres ou complexos solúveis desses íons na solução do solo.

De acordo com Costa & Sousa (2002), a base bioquímica para a capacidade de acumulação de metais não está ainda bem definida. Assume-se que a desintoxicação intracelular do metal é obtida através de ligantes apropriados com uma grande afinidade para esses metais.

A vegetação nativa dos solos de serpentinita acumula quantidades muito grandes de Ni, chegando ao teor de 19.000 mg kg⁻¹, acima do nível considerado tóxico, uma vez que espécies comumente cultivadas o teor tóxico encontra-se entre 24 e 308 mg kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997).

Yang et al. (1997) comentam que plantas do gênero *Alyssum*, são hiperacumuladoras de Ni contendo nas folhas acima de 1 a 3% do peso da matéria seca.

A tolerância do Ni pelas plantas pode ocorrer pela ação de vários mecanismos. Kramer et al. (1996) sugerem que a histidina funciona como quelante do níquel e desempenha um papel importante no transporte do metal da raiz para as folhas e a sua posterior acumulação em plantas do gênero *Alyssum*.

Homer et al. (1991), citados por Marschner (1995), verificaram que a tolerância nessas hiperacumuladoras (gênero *Alyssum*) é devido a complexação do Ni pelos compostos orgânicos, málicos e cítricos em particular; a estabilidade dos complexos de ácido cítrico podem ser 150 vezes maiores que os complexos de ácido málico. O mesmo autor cita ainda estudos realizados por Schlegel et al. (1991), nos quais solos abaixo da projeção da árvore hiperacumuladora, apresentam proporção maior de bactérias resistentes a Ni, indicando alta taxa de ciclagem do Ni no microsistema.

3. TRABALHOS

3.1. PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO MINERAL DO FEIJÃO EM RESPOSTA ÀS ADUBAÇÕES COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade, o desenvolvimento e a composição mineral do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta às adubações com níquel (Ni) e molibdênio (Mo). O trabalho foi conduzido a campo no Instituto Federal de Educação do Espírito Santo (IFES-Campus de Alegre/Alegre-ES), em Argissolo Acinzentado distrófico. Utilizou-se o arranjo fatorial 5 x 2 com cinco doses de Ni (0; 15; 30; 45 e 60 g ha⁻¹) e duas de Mo (0 e 80 g ha⁻¹) no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. A aplicação foliar de Ni e Mo foi feita aos 25 dias após a semeadura por meio de um pulverizador manual. Verificou-se que a adubação molíbdica aumentou o teor de N na folha, reduziu o teor de Fe na semente e, nas doses mais elevadas de Ni (30 g há⁻¹) reduziu o teor de Ni nas sementes. As doses de Ni aumentaram o teor de N na folha e, na presença do Mo, aumentaram o teor de Fe na semente. Houve aumento no número de sementes por vagem com a aplicação de Ni e da massa

seca da parte aérea com a adubação molíbdica. A adubação com 80 g ha⁻¹ de Mo e 60 g ha⁻¹ com Ni aumentou em 12,71% e 27,5%, respectivamente, a produtividade do feijoeiro.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L, micronutriente, adubação foliar.

ABSTRACT

Productivity and mineral composition of beans in response to fertilization with molybdenum and nickel

The objective of this study was to evaluate the productivity, development and mineral composition of beans Gold Red in response to fertilization with nickel (Ni) and molybdenum (Mo). The work was conducted at the Federal Institute of Education Science and Technology of the Holy Spirit (IFES / Merry-ES) in dystrophic Ultisol. We used the 5 x 2 factorial arrangement with five doses of Ni (0, 15, 30, 45 and 60 g ha⁻¹) and Mo (0 and 80 g ha⁻¹) in a randomized block design with four replications. Foliar applications of Ni and Mo was done 25 days after sowing by means of a hand sprayer. It was found that the molybdenum fertilization increased N content in the sheet, reduced the Fe content in the seed and in high doses decreased the Ni content in seeds. Doses of Ni increased the N content in the leaf and in the presence of Mo increased the Fe content in the seed. There was an increase in the number of seeds per pod with the application of Ni and dry weight of shoots with molybdenum fertilization. Fertilization with 80 g ha⁻¹ Mo and 60 g ha⁻¹ with Ni increased by 12.71% and 27.5%, respectively, to yield.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L, micronutrient, foliar fertilization.

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro possui elevada importância social e econômica para a agricultura brasileira, por ser uma importante fonte proteica, pelo contingente de pequenos produtores envolvidos na sua produção, e, por ser o Brasil um dos maiores produtores e consumidores de feijão do mundo (Yokoyama, 2002; Barbosa et al., 2010). Entretanto, a produtividade média da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) nacional é baixa, ficando por volta de 890 kg ha⁻¹ na safra 2011/2012 (Conab, 2012). A baixa produtividade da cultura ocorre, entre outros fatores, devido à nutrição mineral inadequada (Biscaro et al., 2009).

O molibdênio (Mo) é um micronutriente essencial para as plantas por ser componente da enzima redutase do nitrato, que é responsável pela redução do nitrato a nitrito no processo de assimilação do N, e da nitrogenase, essencial para a fixação biológica do N (FBN) nas fabáceas (Kaiser et al., 2005). Assim, a deficiência de Mo pode afetar o metabolismo do nitrogênio, e ser uma das causas da baixa produtividade observada na cultura do feijão (Pessoa et al., 2000).

Diversos trabalhos têm demonstrado que a aplicação foliar de Mo promove aumento de produtividade (Coelho et al., 2001; Ferreira et al., 2003b; Fernandes et al., 2005; Ascoli et al., 2008; Calonego et al., 2010; Rocha et al., 2011) e influencia a composição mineral do feijoeiro (Pessoa et al. 2000; Ferreira et al., 2002). Nascimento et al. (2009) estudando o efeito do Mo sobre a produtividade do feijoeiro obtiveram resposta linear positiva para doses de até 160 g ha⁻¹ de Mo. Já Pires et al. (2005) concluíram que a aplicação foliar de Mo interferiu positivamente na nutrição mineral do feijoeiro comum cv. Meia Noite.

Outro micronutriente essencial que pode afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas é o níquel (Ni) (Marschner, 1995). Dentre os aspectos positivos do Ni para a planta, destacam-se a sua participação na estrutura e funcionamento da enzima urease (Dixon et al., 1975), a urease atua na hidrólise da ureia e influencia o complexo enzimático hidrogenase, que aumenta a eficiência da fixação de nitrogênio em fabáceas (Klucas et al., 1983) o que torna esse elemento extremamente importante para o metabolismo do

nitrogênio (Jasmim et al., 2002) e, portanto, capaz de afetar a produtividade das fabáceas.

Campanharo (2010a), estudando o efeito de doses de Ni sobre o feijoeiro comum cv. Pérola observou que os teores de ureia no tecido foliar diminuíram em resposta ao aumento das doses de Ni e ao período de tempo após a aplicação de uréia, indicando aumento da atividade da enzima urease. A autora também verificou que as doses utilizadas resultaram em decréscimo no teor foliar de manganês (Mn), porém não afetaram o crescimento do feijoeiro. Resultados semelhantes foram obtidos com a cultivar Princesa e o feijoeiro caupi (*Vigna unguiculata* L.).

Segundo Guareschi e Perin (2008), o processo produtivo da agricultura brasileira dependerá de um uso mais eficiente de micronutrientes, buscando corrigir sua deficiência e elucidar sua eficiência. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade, o desenvolvimento e a composição mineral do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Ouro Vermelho, considerando as adubações foliares com diferentes doses de níquel e molibdênio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, no período de março a junho de 2011, no Instituto Federal de Educação do Espírito Santo IFES-campus de Alegre, localizado no distrito de Rive, Alegre-ES, a 20° 45' 30" de latitude (S) e 41° 27' 23" de longitude (O) com altitude de 108,27 m. O clima da região predominante é quente e úmido no verão e seco no inverno com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23°C. O solo do local foi classificado como Argissolo Acinzentado distrófico.

Utilizou-se o arranjo fatorial 5 x 2, constituindo-se das combinações de cinco doses de Ni (0, 15, 30, 45 e 60 g ha⁻¹), e duas doses de Mo (0 e 80 g ha⁻¹), aplicados por via foliar, aos 25 dias após a semeadura (DAS), na forma de cloreto de níquel hexahidratado (NiCl₂.H₂O com 26% de Ni), e molibdato de amônio ([(NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O] que tem 54% de Mo), respectivamente. O delineamento

experimental adotado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por parcelas formadas por quatro linhas de cinco metros de comprimento espaçadas de meio metro, totalizando 10 m² por parcela, sendo consideradas como área útil às duas linhas centrais, com descarte de meio metro das extremidades (4 m² de área útil por parcela).

As características químicas do solo foram determinadas antes da instalação do experimento, em amostras coletadas na camada de 0 – 20 cm cujos resultados podem ser visualizados na tabela 1. De acordo com a análise de solo foi aplicado 0,6 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico; 88,8 kg ha⁻¹ de ureia; 400 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e, 300 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Tabela 1. Características químicas do Argissolo Acinzentado Distrófico sobre o qual foi instalado o experimento.

PH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	V	SB
H ₂ O	-----mg kg ⁻¹ -----			-----cmol _c dm ³ -----			-----%-----		
5,8	13	86	6	2,0	0,4	0,0	2,7	49	2,6
MO	Zn	Fe	Mn	Mo	Ni	Cu	B	T	t
dag kg ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----			-----cmol _c dm ³ -----					
1,7	7,7	89,5	92	2,2	8,4	24	1,0	5,3	2,6

A semeadura foi realizada no dia 15/03/2011, no sistema convencional, com uma aração e duas gradagens, utilizando-se sementes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Ouro Vermelho, inoculadas com estirpes de *Rhizobium tropici*, contendo no material turfoso 5 x 10⁹ bactérias por grama. Foram semeadas dezesseis sementes por metro de sulco de plantio. Dez dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste, mantendo-se doze plantas por metro linear, totalizando 240.000 plantas ha⁻¹. O controle de pragas e doenças foi feito com a aplicação dos inseticidas e fungicidas, de acordo com controle recomendado em Embrapa (2005).

Vinte e cinco DAS, no estágio de desenvolvimento V4, as doses de Ni e Mo foram aplicadas via foliar, por meio de um pulverizador costal de 20 L, com bico cônico, calibrado para dispensar 170 L ha⁻¹ de volume de calda.

Foram coletadas, aleatoriamente, 10 folhas do feijoeiro no florescimento pleno para as análises nutricionais (N, P, K, Fe, Mo, e Ni). Para a determinação dos teores foliares foi utilizada a terceira folha completamente expandida a partir

do ápice da planta (Malavolta, 2006). Na colheita, amostras de 100 g de sementes da área útil da parcela também foram obtidas para análise nutricional dos teores de N, Fe, Mo e Ni. Folhas e sementes foram secas em estufa, com ventilação forçada a 65° C, durante 72 horas e moídas em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh e acondicionadas em recipientes plásticos herméticos para posterior análise.

Para a determinação do teor de N total, as amostras foram submetidas a digestão sulfúrica 0,1% (Malavolta, 2006), sendo que para os teores de P, K e Fe as amostras de folhas e grãos foram expostas à digestão nítrico-perclórica (Tedesco, 1985), e para os teores de Ni e Mo à digestão via seca em mufla a 550°C. O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl, (Bremner e Mulvaney, 1982; Malavolta et al., 1997), o P foi determinado por espectrofotometria pelo método da vitamina C (conforme metodologia modificada por Braga & Defelipo, 1974), o K por fotometria de chama, o Fe por espectrofotometria de absorção atômica, o Mo e Ni, determinados por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite (Bataglia et al. 1983). A partir do teor de N na semente, foi calculada a porcentagem de proteína bruta (PB), empregando-se o fator 6,25.

Por ocasião da colheita, foram avaliados o estande final, a altura das plantas, o rendimento de sementes, os componentes do rendimento (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e a massa de cem sementes) e coletaram-se as folhas, ramos e sementes. O estande final foi obtido pela contagem do número total de plantas por área útil. As sementes provenientes da debulha manual de todas as vagens forneceram por pesagem o rendimento de sementes (corrigidos a 13 % de umidade e transformados em kg ha⁻¹). O número médio de vagens por planta e o número médio de sementes por vagem foram determinados em amostra aleatória de dez plantas na área útil da parcela, e a massa de cem sementes, pela média de três pesagens de cem sementes tomadas ao acaso. A massa seca da parte aérea (MSPA) foi obtida por meio da pesagem das folhas e ramos, secos em estufa com ventilação forçada a 65° C, durante 72 horas.

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância. As comparações entre as médias para a adubação molíbdica foram

feitas pelo teste F a 5% de probabilidade e para os efeitos de doses de Ni foi efetuada análise de regressão, sendo os modelos escolhidos segundo os melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2), pela significância dos coeficientes de regressão e do teste F da regressão, ambos até 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de N na folha do feijoeiro foi influenciado significativamente pela interação Ni x Mo (Figura 1). Na ausência da adubação molíbdica o teor de N máximo foi obtido com a dose estimada de 16,23 g ha⁻¹ de Ni. Quando o Mo foi aplicado o teor de N máximo foi alcançado com a dose estimada de 29,23 g ha⁻¹ de Ni.

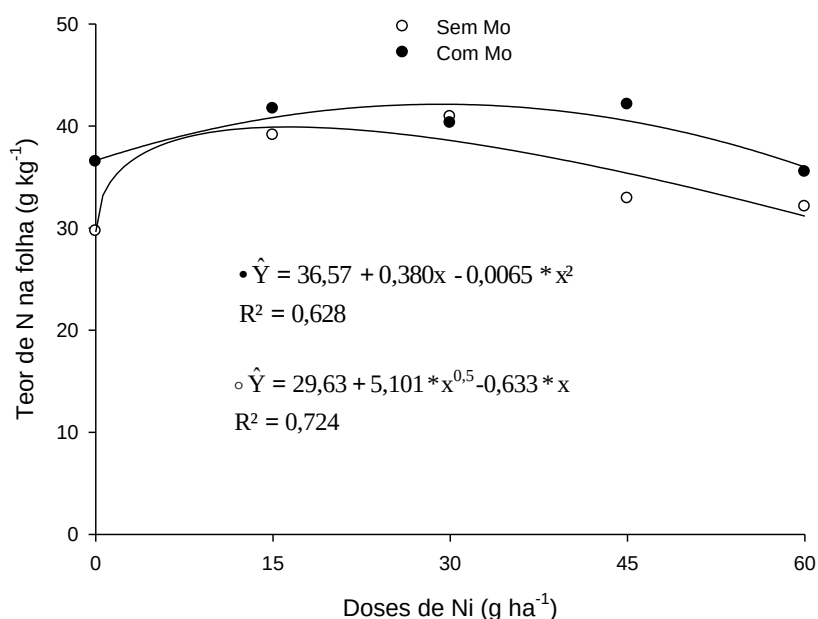


Figura 1. Teor de N na folha do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à aplicação foliar de doses de Ni.

Quanto à adubação molíbdica observou-se que a adubação molíbdica elevou o teor foliar de N em 22,9% na ausência de Ni, e em 28,0% quando foi aplicada a dose de 45 g ha⁻¹ de Ni (Tabela 2). Estes resultados corroboram os obtidos por Barbosa et al. (2010) que também obtiveram resposta positiva sobre o

teor de N foliar do feijoeiro após a aplicação de Mo. Possivelmente, o aumento no teor de N nas folhas do feijoeiro foi consequência de uma maior atividade das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato, enzimas envolvidas na fixação biológica e na assimilação do N.

Tabela 2. Desdobramento da interação para o teor foliar de N e P no feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho, em função da adubação foliar com Ni e Mo.

Doses de Ni (g ha ⁻¹)	Mo (g ha ⁻¹)			
	N (g kg ⁻¹)		P (g kg ⁻¹)	
	0	80	0	80
0	29,7b	36,5a	2,9a	2,5a
15	39,1a	41,7a	2,7a	3,2a
30	40,9a	40,3a	2,9a	2,8a
45	32,9b	42,1a	2,5b	3,1a
60	32,1a	35,5a	2,7a	2,4a

Médias seguidas de letras distintas na linha, para cada variável, diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Houve efeito da interação Ni x Mo para o teor de P na folha do feijoeiro. No entanto, o teor de P na folha do feijoeiro não foi influenciado de forma significativa pelas doses de Ni, na ausência ou presença da adubação molíbdica. Quanto ao efeito do Mo, observou-se que a adubação molíbdica influenciou o teor de P na folha do feijoeiro somente quando foi aplicada a dose de 45 g ha⁻¹ de Ni, proporcionando um incremento de 24,0% no teor de P na folha (Tabela 2).

Para os teores de K e Fe na folha não foi observado efeito dos fatores estudados (Tabela 3). Os teores médios observados para o K e o Fe na folha foram de 18,83 g kg⁻¹ e 126,16 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 3). Vale ressaltar que os teores médios observados para o K e o Fe se encontram abaixo e acima, respectivamente, do nível crítico proposto por Malavolta (1997) que é de 20 g kg⁻¹ para o K e 100 mg kg⁻¹ para o Fe.

Tabela 3. Teores de K, Fe, Mo, e Ni nas folhas do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta a adubação foliar com molibdênio.

Dose de Mo (g ha ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mo (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)
0	18,57a	127,22a	0,209b	4,32b
80	19,09a	125,10a	0,271a	5,66a
Média	18,83	126,16	0,240	4,99
CV (%)	10,91	15,08	13,42	25,18

Médias seguidas de letras distintas na coluna, para cada variável, diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Quanto ao teor de Mo na folha, não foi observado efeito significativo das doses de Ni aplicadas. Entretanto, observou-se que a adubação molíbdica promoveu maior teor do nutriente nas folhas, com um incremento de 29,67% (Tabela 3) o que corrobora os resultados obtidos por Pessoa et al. (2000) e Rocha et al. (2011).

A adubação molíbdica elevou em 31,01 % o teor foliar de Ni quando comparado à testemunha (Tabela 3). Observou-se também que o teor de Ni na folha foi linearmente influenciado pelas doses de Ni aplicadas, atingindo um incremento de 164,23% para a maior dose aplicada (Figura 2). Campanharo (2010) também observou que doses crescentes de até 100 g ha⁻¹ de Ni aumentaram de forma linear o teor de Ni nas folhas jovens e maduras, nos ramos e nas vagens do feijoeiro. Vale ressaltar que no presente trabalho não foram observados sintomas de fitotoxidez de Ni no feijoeiro, o que corrobora os resultados obtidos por Campanharo et al. (2010), em que doses de até 60 g ha⁻¹ de Ni não proporcionaram sintomas de toxicidade no feijoeiro comum cv. Princesa. De acordo com Malavolta (2007) os níveis tóxicos estão comumente na faixa de 25 a 50 mg kg⁻¹, valores bem acima dos observados no presente trabalho.

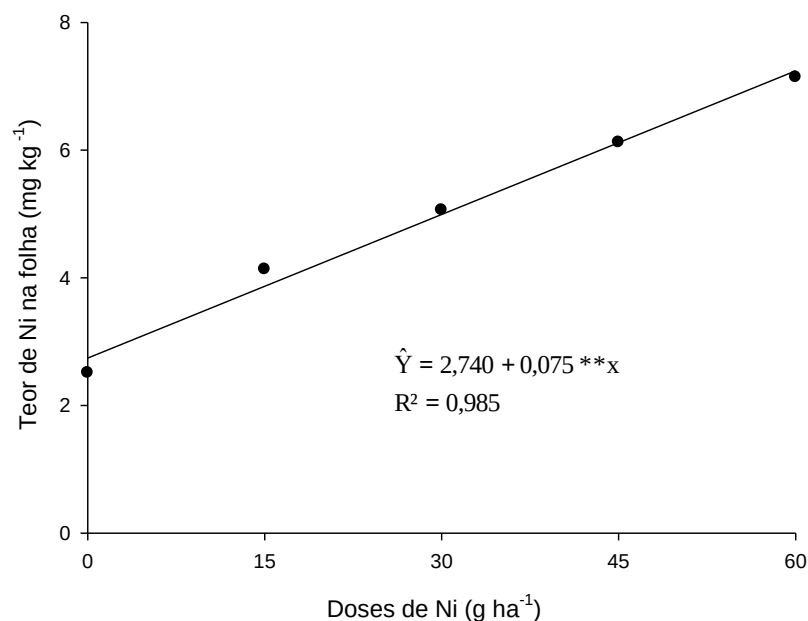


Figura 2. Teor de Ni na folha do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação foliar com Ni.

Apesar das doses de Ni terem influenciado significativamente o teor de N nas folhas (Figura 1), não foi observado efeito significativo sobre o teor de N na semente. Porém, houve efeito da adubação molíbdica (Tabela 4), dado que concorda com os obtidos por Ferreira et al. (2002) que, observaram que a aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo aumentou significativamente o teor de N nas sementes do feijoeiro comum cv. Meia Noite. No presente trabalho, a aplicação da dose de 80 g ha⁻¹ de Mo elevou em 10,73% o teor de N nas sementes do feijoeiro (Tabela 4). Possivelmente, o maior teor observado de N seja consequência de maior atividade enzimática das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato. Por outro lado, Nascimento et al. (2004) não observaram efeito da aplicação de Mo sobre o teor de N em feijões da cultivar IAC Carioca Eté. Observou-se também, incremento no teor de proteína bruta (PB) das sementes, característica que está associada a feijões de melhor qualidade (Tabela 4). Este resultado concorda com o obtido por Ferreira et al. (2002) e discorda do obtido por Silva et al. (2006).

Tabela 4. Teores de N (NSE) e de proteína bruta (PB) nas sementes do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta a adubação molíbdica.

Dose de Mo (g ha ⁻¹)	NSE (mg kg ⁻¹)	PB (%)
0	27,69b	17,30b
80	30,66a	19,16a
CV (%)	6,06	6,06

Médias seguidas de letras distintas na coluna, para cada variável, diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Para o teor de Fe na semente, observou-se resposta quadrática à aplicação das doses Ni, tanto na presença quanto na ausência do Mo (Figura 3). Na ausência da adubação molíbdica, independentemente da dose de Ni aplicada, o teor de Fe na semente sempre foi inferior à testemunha. A dose que proporcionou máxima redução no teor de Fe foi de 32,55 g ha⁻¹ de Ni. A partir dessa dose houve um incremento no teor de Fe da semente, porém sempre inferior à testemunha. Na presença da adubação molíbdica, observou-se um pequeno incremento no teor de Fe da semente até a dose estimada de 13,12 g ha⁻¹ de Ni. A partir desta dose, o teor de Fe da semente foi reduzido significativamente, atingindo 11,27% de redução para a maior dose de Ni utilizada.

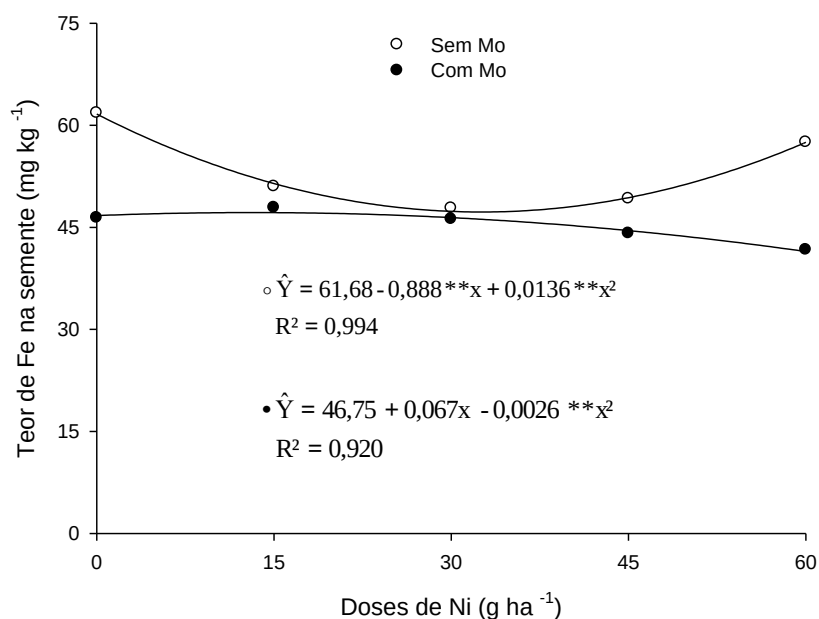


Figura 3. Teor de Fe na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação foliar com Ni.

A adubação molíbdica diminuiu o teor de Fe na semente, na ausência e nas doses mais elevadas de Ni (Tabela 5). Pessoa et al. (2000) também observaram que doses de até 104,69 g ha⁻¹ de Mo reduziram o teor de Fe nas sementes do feijoeiro comum cv. Ouro Negro.

Tabela 5. Desdobramento da interação para o teor de Fe, Mo e Ni na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho, em função da aplicação de Ni e Mo via foliar.

Doses de Ni (g ha ⁻¹)	Mo (g ha ⁻¹)					
	0		80		80	
	Fe (mg kg ⁻¹)		Mo (mg kg ⁻¹)		Ni (mg kg ⁻¹)	
0	61,8a	46,4b	0,079b	0,295a	8,39b	10,29a
15	51,0a	47,9a	0,179b	0,279a	8,63b	9,31a
30	47,8a	46,2a	0,091b	0,281a	10,11a	8,93b
45	49,2a	44,1b	0,111b	0,367a	11,42a	9,10b
60	57,5a	41,7b	0,071b	0,295a	11,48a	8,90b

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si para cada nutriente analisado, em nível de 5% de probabilidade pelo teste F

O teor de Mo na semente foi influenciado significativamente pela interação Ni x Mo, porém não foi possível ajustar um modelo de regressão para

as doses de Ni. A adubação molíbdica aumentou o teor de Mo na semente do feijoeiro, independentemente da dose de Ni utilizada (Tabela 5), o que corrobora os resultados obtidos por Pessoa et al. (2000) e Vieira et al. (2011) que também observaram maior teor de Mo na semente do feijoeiro com a aplicação foliar do elemento. Considerando que a quantidade requerida de Mo pelo feijoeiro seja pequena, sementes com elevados teores de Mo são desejáveis, pois, podem fornecer quantidades do nutriente suficientes para garantir um adequado crescimento às plantas, sem adição suplementar de Mo ao solo (Jacob-Neto & Rossetto, 1998). Segundo esses autores, conteúdo de $3,5 \mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo permite o desenvolvimento das plantas sem adubação suplementar de Mo.

Não houve resposta às doses de Ni sobre o teor de Ni nas sementes na presença da adubação molíbdica (Figura 4). Na ausência da adubação molíbdica observou-se um efeito linear das doses de Ni sobre o teor de Ni da semente, atingindo incremento máximo de 43,7% com a dose de 60 g ha^{-1} de Ni (Figura 4). Considerando o desdobramento da interação Ni x Mo, observou-se que quando o Ni não foi aplicado, a adubação molíbdica aumentou o teor de Ni na semente, ao passo que nas doses de 45 e 60 g ha^{-1} de Ni houve redução no teor de Ni na semente do feijoeiro em resposta a adubação molíbdica (Tabela 5).

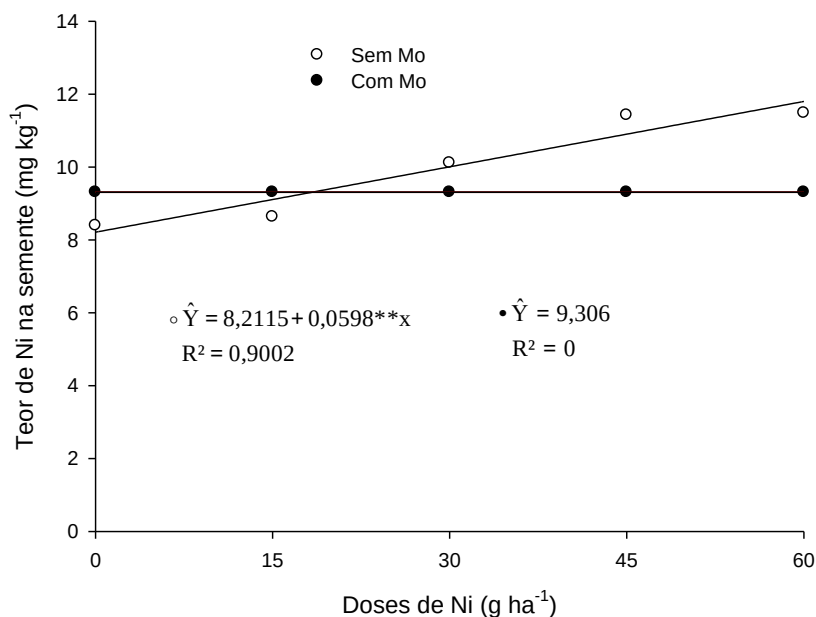


Figura 4. Teor de Ni na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação foliar com Ni.

A altura e o estande final das plantas não foram influenciados pelos fatores estudados. Guareschi e Perin et al. (2008) também não obtiveram resposta do Mo sobre a altura de plantas do feijoeiro e Nascimento et al. (2004), Pires et al. (2004) e Rocha et al. (2011) não verificaram resposta sobre a população final de plantas do feijoeiro. A aplicação das doses de Ni proporcionou resposta linear positiva na massa seca da parte aérea (Figura 5). O incremento máximo observado foi de 27,97% para a maior dose de Ni. Possivelmente, os maiores valores encontrados são consequência de uma maior atividade das enzimas urease e hidrogenase (Klucas et al., 1983; Campanharo, 2010a). Observou-se também que, a aplicação foliar de 80 g ha⁻¹ de Mo aumentou em 10,62% a massa seca da parte aérea (Tabela 6). Fernandes et al. (2005) também observaram efeito linear positivo do Mo sobre a massa seca da planta. Por outro lado, Kubota et al. (2008), Guareschi e Perin (2008) e Barbosa et al. (2010) não observaram efeito do Mo sobre a massa seca da parte aérea do feijoeiro.

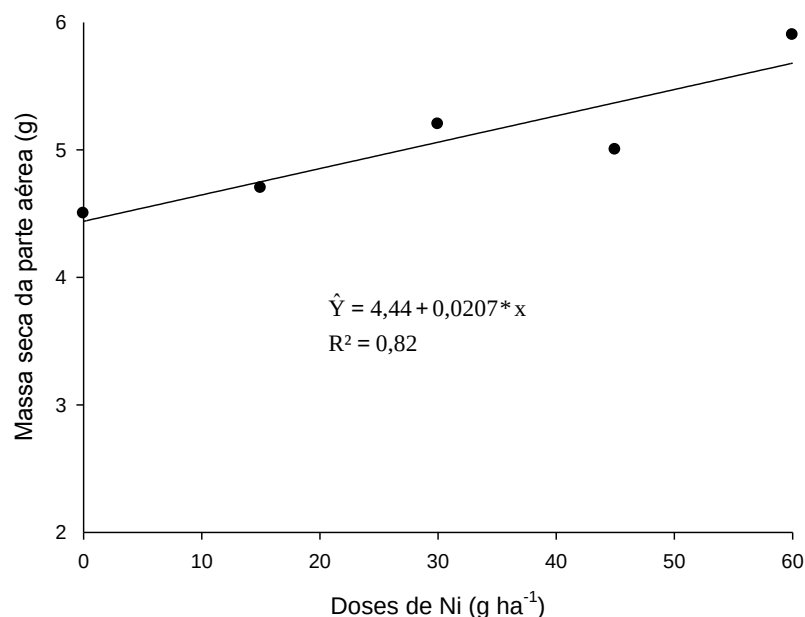


Figura 5. Massa seca da parte aérea do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação foliar com Ni.

Não houve efeito das doses de Ni sobre o número de vagens por planta. Por outro lado, observou-se que plantas que receberam aplicação foliar de Mo apresentaram maior número de vagens por planta (Tabela 6). Resultado semelhante, foi obtido por Silva et al. (2003) que verificaram que doses de até 150 g ha⁻¹ de Mo aumentaram o número de vagens por planta do feijoeiro quando comparado a dose zero. O incremento no número de vagens por planta, proporcionado pela aplicação foliar de Mo foi de 16,78% (Tabela 6). Porém, Nascimento et al. (2004), Biscaro et al. (2009), Nascimento et al. (2009) e Calonego et al. (2010) não observaram resposta positiva do Mo sobre o número de vagens por planta do feijoeiro.

Tabela 6. Peso da matéria seca da parte aérea (MSPA), número de vagens por planta (NVP) e produtividade (PROD), do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta a adubação molíbdica.

Dose de Mo (g ha ⁻¹)	MSPA (g)	NVP	PROD (kg ha ⁻¹)
0	4,80b	7,69b	1648,0b
80	5,31a	8,98a	1857,5a
CV (%)	12,14	14,51	12,98

Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F.

O número de sementes por vagem foi influenciado de forma linear pelas doses de Ni (Figura 6). Entretanto, observou-se que o incremento foi pequeno. Para a maior dose de Ni houve um aumento de 8,18% no número de sementes por vagem. Não houve efeito do Mo sobre o número de sementes por vagem, resultado que corrobora os obtidos por Nascimento et al. (2004), Ascoli et al. (2008), Nascimento et al. (2009), Biscaro et al. (2009) e Rocha et al. (2011). Todavia, Pires et al. (2004) observaram que o Mo elevou em 8,88% o número de sementes por vagem do feijão.

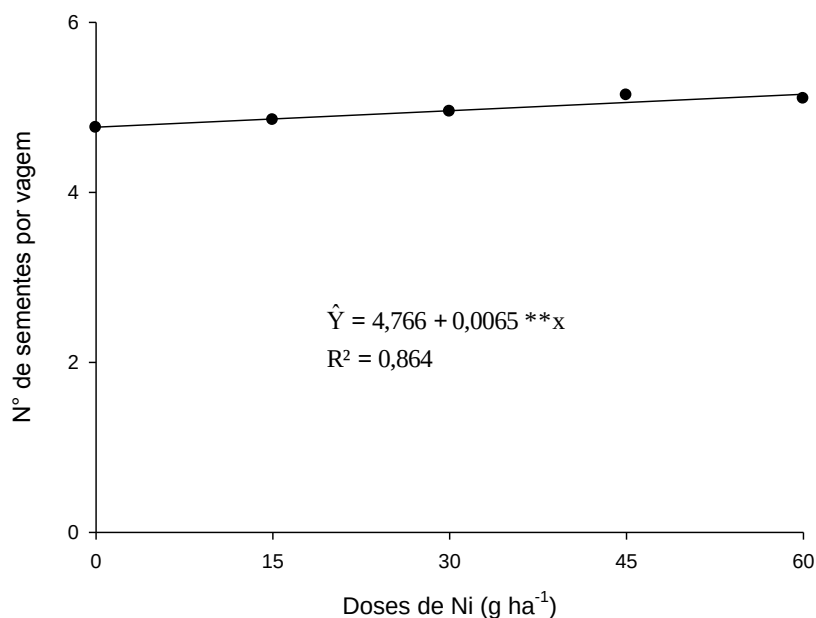


Figura 6. Número de sementes por vagem do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação foliar com Ni.

A massa de 100 sementes não foi influenciada pelos fatores estudados. Resultados semelhantes foram obtidos por Barbosa et al. (2010), Nascimento et al. (2004), Ascoli et al. (2008) e Rocha et al. (2011) que também não obtiveram efeito do Mo sobre a massa de 100 sementes. Entretanto Leite et al. (2007) observaram que as sementes das plantas adubadas com 80 g ha⁻¹ de Mo apresentaram média de massa de 100 sementes, 12% superior à das sementes produzidas sem adubação molíbdica.

A produtividade apresentou resposta linear positiva à aplicação foliar de Ni, com incremento máximo de 27,5% para a dose de 60 g ha⁻¹ de Ni quando comparado à dose zero (Figura 7). Acredita-se que esse efeito benéfico do Ni sobre a produtividade do feijoeiro seja consequência do maior número de sementes por vagem (Figura 6), que possivelmente ocorreu pela influência do Ni no metabolismo do N. Trabalho desenvolvido por Campanharo (2010a) demonstrou maior atividade da urease, enzima que cataliza a hidrólise da ureia em amônia e CO₂, um importante passo para assimilação do N pelo feijoeiro. Além disso, o Ni por participar do complexo enzimático da hidrogenase, possui potencial para aumentar a eficiência da fixação biológica de N (Klucas et al., 1983).

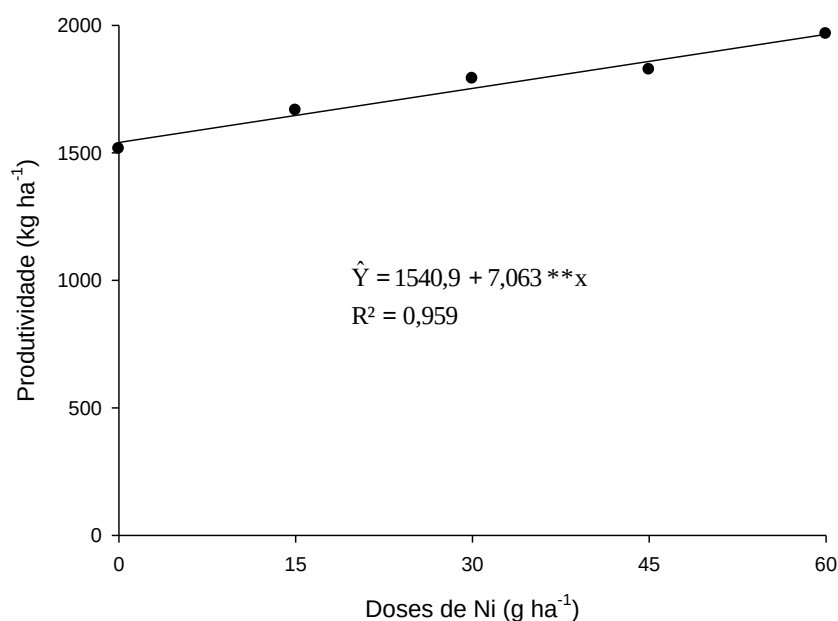


Figura 7. Produtividade do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação foliar com Ni.

Quanto à adubação molíbdica, observou-se que a aplicação de 80 g ha^{-1} de Mo elevou em 12,71% a produtividade do feijoeiro quando comparado com a testemunha (Tabela 6). Esse resultado está de acordo com diversos trabalhos que demonstram que a aplicação foliar de Mo aumenta a produtividade do feijoeiro (Pessoa et al., 2000; Silva et al., 2003; Pires et al., 2004; Ferreira et al., 2003a; Fernandes et al., 2005; Ascoli et al., 2008; Nascimento et al., 2009; Calonego et al., 2010; Rocha et al., 2011), possivelmente devido ao maior número de vagens por planta observado (Tabela 6) e uma maior atividade das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato (Pessoa et al., 2001; Coelho et al., 2001) que possuem, respectivamente, o potencial de influenciar o processo de fixação biológica de N e assimilação do nitrato absorvido pelas plantas.

4. CONCLUSÕES

- A adubação com 80 g ha^{-1} de Mo e 60 g ha^{-1} com Ni aumentou em 12,71% e 27,5%, respectivamente, a produtividade do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho.
- A adubação molíbdica aumentou o teor de N, mas reduziu o teor de Fe na semente. As doses de Ni aumentaram o teor de N na folha e na presença do Mo aumentaram o teor de Fe na semente. Em doses elevadas de Ni, a adubação molíbdica reduziu o teor de Ni nas sementes.
- As doses de Ni aumentaram o número de sementes por vagem e a massa seca da parte aérea. A adubação molíbdica aumentou o número de vagens por planta e a massa seca da parte aérea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ascoli, A. A.; Soratto, R. P.; Maruyama, W. I. (2008) Aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. *Bragantia*, v. 67, n. 2, p. 377-384.
- Bataglia, O. C. ; Furlani, A. M. C.; Teixeira, J. P. F.; Furlani, P. R.; Gallo, J. R. Métodos de Análise Química de Plantas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78). 1983.
- Barbosa, G. F.; Arf, O.; Nascimento, M.S.; Buzetti, S.; Freddi, O.S. (2010) Nitrogênio em cobertura e molibdênio foliar no feijoeiro de inverno. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 32, n. 1, p. 117-123.
- Biscaro, G. A.; Freitas Júnior, N. A.; Soratto, R. P.; Kikuti, H.; Goulart Júnior, S. A. R.; Aguirre, W. M. (2011). Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em solo de cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 4, p. 665-670.
- Biscaro, G. A.; Goulart Júnior, S. A. R.; Soratto, R. P.; Freitas Júnior, N. A.; Motomiya, A. V. A.; Calado Filho, G. C. (2009) Molibdênio via semente e nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em solo de cerrado. *Ciência agrotecnologia*, v. 33, n. 5, p. 1280-1287.
- Braga J. M.; Defelipo B. V. (1974) Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21:73-85.
- Bremmer. J. M.; Malvaney. C. S.(1982). Nitrogen total. Methods off soil analysis. Part 2 2nd Ed. P 595-624. *American Societ of Agronomy. Madson Wisconsin*.

- Calonego, J. C.; Ramos Júnior, E. U.; Barbosa, R. D.; Leite, G. H. P.; Filho, H. G. (2010) Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. *Rev. Ciência Agronomia*, v. 41, n. 3, p. 334-340.
- Campanharo, M. (2010). *Resposta do feijoeiro à aplicação de níquel*. Tese de doutorado em produção vegetal. Universidade Estadual Norte Fluminense. CCTA. UENF. 138p.
- Coelho, F. C.; Freitas, S. P.; Monerat, P. H.; Dornelles, M. S (2001) Efeitos sobre a cultura do feijão das adubações com nitrogênio e molibdênio e do manejo de plantas daninhas. *Revista Ceres*, v. 48, n. 278, p. 455-467.
- Conselho Nacional De Abastecimento. Safras 2011/2012: 12º levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_09_18_33_boletim_graos_-_setembro_2012.pdf>. Acesso em: 10 Novembro 2012.
- Dixon, N. E.; Gazzola, C.; Blakeley, R. L.; Zerner, B. (1975) Jack bean urease (EC 3.5.1.5), a metalloenzyme. A simple biological role for nickel? *Journal of the American Chemistry Society*, v.97, p.4131-4133.
- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, (2005) Sistema de produção nº 6, dezembro de 2005, versão eletrônica, acesso em 20/11/2012, disponível em <http://www.cnpaf.embrapa.br/transferencia/informacoes tecnicas/publicacoes online/comunicadotecnico.php>. 2005.
- Fernandes, F. A.; Arf, O.; Binotti, F. F. S.; Romanini Júnior, A.; Sá, M. A.; Buzetti, S.; Rodrigues, R. A. F. (2005) Molibdênio foliar e nitrogênio em feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 27, n. 1, p. 7-15.

- Ferreira, A. C. B.; Araújo, G. A. A.; Cardoso, A. A.; Fontes, P. C. R.; Vieira, C. (2003a) Características agronômicas do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 25, n. 1, p. 65-72, 2003.
- Ferreira, A. C. B.; Araújo, G. A. A.; Cardoso, A. A.; Fontes, P. C. R.; Vieira, C. (2002) Influência do molibdênio contido na semente e da sua aplicação foliar sobre a composição mineral de folhas e sementes do feijoeiro. *Revista Ceres*, v. 49, n. 284, p. 443-452.
- Guareschi, R. F.; Perin, A. (2009) Efeito do molibdênio nas culturas da soja e feijão via adubação foliar. *Gl. Sci. Technol.*, v. 2, n. 3, p.8-15.
- Jacob Neto, J.; Rossetto, C. A. V. (1998). Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v.5, n.1, p.171-183.
- Jasmim, J. M.; Monnerat, P. H.; Rosa, R. C. C. (2002) Efeito da omissão de N, Ni, Co e S sobre os teores de N e S em feijoeiro. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 26, p. 967-975.
- Kaiser, K. N.; Gridley, K. L.; Brady, J. N.; Phillips, T.; Tyerman, S. D. (2005) The role of molybdenum in agricultural plant production. *Annals of Botany*, v. 96, n. 5, p. 745-754.
- Klucas, R. V.; Hanus, F. J.; Russell, S. A.; Evans, H. J. (1983) Nickel, a micronutrient for hydrogen dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, v. 80, p. 2253-2257.

- Kubota, F. Y.; Neto, A. C. A.; Araujo, A. P.; Teixeira, M. G. (2008) Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 32, n. 4, p. 1635-1641.
- Leite, U. T.; Araujo, G. A. A.; Miranda, G. V.; Vieira, R. F.; Carneiro, J. E. S.; Pires, A. A. (2007) Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 29, n. 1 p. 113-120.
- Malavolta, E.; Moraes, M. F. de; Lavres Junior, J.; Malavolta, M. (2006) Micronutrientes em metais pesados - essencialidade e toxidez, p.117-154. In: Paterniani, E. *Ciência, agricultura e sociedade*. Ed., Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 503p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. San Diego: *Academic press*, 1995. 889p.
- Nascimento, M. S.; Arf, O.; Silva, M. G. (2004) Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 26, n. 2, p. 153-159.
- Nascimento, M. S.; Arf, O.; Barbosa, G. F.; Buzetti, S.; Nascimento, R. S.; Castro, R. M. (2009) Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar em feijoeiro de inverno no sistema plantio direto. *Scientia Agraria*, v.10, n.5, p.351-358.

- Pessoa, A. C. S.; Ribeiro, A. C.; Chagas, J.M.; Cassini, S.T.A. (2000) Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.1, p.75-84.
- Pessoa, A. C. S.; Ribeiro, A. C.; Chagas, J. M.; Cassini, S. T. A. (2001) Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n.1, p. 217-224.
- Pires A. A, Araújo G. A. A, Leite U. T, Zampirolli P. D, Ribeiro J. M. O, Meireles R.C; (2005) Parcelamento e época de aplicação foliar do molibdênio na composição mineral das folhas do feijoeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27:25-31.
- Pires, A. A.; Araújo, G. A. A.; Miranda, G. V.; Berger, P. G.; Ferreira, A. C. B.; Zampirolli, P. D.; Leite, U. T. (2004) Rendimento de grãos, componentes do rendimento e Índice SPAD do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de época de aplicação e do parcelamento da aplicação foliar de molibdênio. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 5, p. 1092-1098.
- Rocha, P. R. R.; Araújo, G. A. A.; Carneiro, J. E. S.; Cecon, P. R.; Lima, T. C (2011) Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio de plantio direto e convencional. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 2, p. 9-17.
- Silva, M. V.; Andrade, M. J. B.; Moraes, A. M.; Alves, V. G. (2003) Fontes e doses de molibdênio via foliar em duas cultivares e feijoeiro. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 27, n. 1, p. 126-133.
- Silva, T. R. B.; Lemos, L. B.;Tavares, C. A. (2006) Produtividade e característica tecnológica de grãos de feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.41, n.5, p.739-745.

- 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. 188 p. (Boletim Técnico, 5).
- Yokoyama, L. P. (2002) Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: Aidar, H.; Kluthcouski, J.; Stone, L. F. Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 249-292.
- Vieira, R. F.; Ferreira, A. C. B.; Prado, A. L. (2011) Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 2, p. 163-169.

3.2. ADUBAÇÃO FOLIAR COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO NO FEIJOEIRO COMUM 'OURO VERMELHO'

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar de níquel (Ni) e molibdênio (Mo) sobre os componentes de rendimento, o crescimento e a composição mineral do feijoeiro comum Ouro Vermelho. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, em um arranjo fatorial 5 x 2, constituído de doses de Ni (0, 15, 30, 45 e 60 g ha⁻¹) e Mo (0 e 80 g ha⁻¹) aplicadas por via foliar, aos 25 dias após a semeadura, na forma de cloreto de níquel hexahidratado e molibdato de amônio, respectivamente. As doses de Ni não influenciaram os teores foliares de N, P, K, Fe, Mo e Ni, mas aumentaram os teores de N, Ni e de proteína bruta na semente. A aplicação foliar de Mo reduziu os teores foliares de P, Fe e Ni, mas aumentou o teor foliar de Mo e o teor de N, Mo e de proteína bruta na semente. Observou-se que as aplicações foliares de Ni e Mo não afetaram o peso de sementes, o número de sementes por vagem, o número de vagens por planta e a massa seca de raiz do feijoeiro. A aplicação de Mo aumentou em 21,62% o número de nódulos das raízes do feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L, cloreto de níquel hexahidratado, molibdato de amônio, micronutrientes.

THE FOLIAR FERTILIZATION WITH NICKEL AND MOLYBDENUM IN AN “OURO VERMELHO” COMMON BEAN

ABSTRACT

The object of this study was to assess the effect of the foliar application with nickel (Ni) and molybdenum (Mo) on the yield components, the growth and the mineral composition of an “ouro vermelho” common bean. It was utilized the factorial scheme 5 x 2, constituted with doses of Ni (0, 15, 30, 45 and 60 g ha⁻¹), and Mo (0 and 80 g ha⁻¹) applied by foliar 25 days after the seeding, in form of chloride of Ni hexahydrate and ammonium molybdate respectively. The experimental design was adopted in a randomized block, repeated four times. The foliar application of Ni did not change the foliar contents of N, P, K, Fe, Mo and Ni, but increased the content of N, Ni and the crude protein within seed. The application of Mo decreased the foliar contents of P, Fe and Ni, but increased the foliar content of Mo and the content of N, Mo and crude protein within seed. Following this, could be observed that the foliar application of Ni and Mo did not affect the seed weight, the number of beans per pod, the number of pod per plant and the dry weight of bean root. The application of Mo increased in 21,62% the number of nodules of bean.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L, chloride of nickel hexahydrate, ammonium molybdate.

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro tem especial importância para a agricultura brasileira, por sua relevância na dieta da população, e, por ser o país um dos maiores produtores e consumidores de feijão do mundo (Barbosa et al., 2010). Apesar de o Brasil ser um dos maiores produtores, a produtividade média observada é baixa. Na última década ficou em torno dos 850 kg ha⁻¹ (Conab, 2012). Um dos fatores que tem contribuído para essa realidade é a negligência existente quanto à nutrição mineral da cultura (Leal e Prado., 2008; Biscaro et al., 2011), principalmente no que diz respeito aos micronutrientes. Para Guareschi e Perin (2008) o processo produtivo da agricultura brasileira dependerá de um uso mais eficiente de micronutrientes, buscando corrigir sua deficiência e elucidar sua eficiência.

Na cultura do feijoeiro, o molibdênio (Mo) é um dos micronutrientes que tem despertado grande interesse principalmente em função dos resultados que vêm sendo obtidos com a adubação molíbdica foliar (Silva et al., 2003). O Mo é considerado um micronutriente essencial para as plantas por ser componente das enzimas redutase do nitrato e nitrogenase. Sua carência pode afetar o metabolismo do N e se apresenta como uma das possíveis causas da baixa produtividade observada na cultura do feijão (Pessoa et al., 2000).

Segundo Pires et al. (2002), as respostas das plantas à aplicação de Molibdênio têm se mostrado variáveis entre as espécies e mesmo entre os cultivares da mesma espécie, em consequência das variações na capacidade de absorção, translocação, acúmulo nos tecidos e utilização do nutriente pela planta. De qualquer forma, em diversos trabalhos, observa-se aumento de produtividade do feijoeiro com o fornecimento de Mo (Fernandes et al., 2005; Calonego et al., 2010; Rocha et al., 2011). As doses utilizadas tem variado em torno de 80 g ha⁻¹ de Mo (Pessoa et al., 2000; Ferreira et al., 2003; Nascimento et al., 2009; Calonego et al., 2010) e a melhor época de aplicação se encontra em torno de 25 dias após emergência (DAE) (Pessoa et al., 2001; Ferreira et al., 2002; Calonego et al., 2010).

O Níquel (Ni) é outro micronutriente extremamente importante para o metabolismo do nitrogênio (Jasmim et al., 2002) e, portanto, capaz de afetar a

produtividade das fabáceas. O Ni é componente da urease, enzima que atua na hidrólise da ureia (Dixon et al., 1975) e influencia a enzima hidrogenase, que aumenta a eficiência da fixação de nitrogênio em fabáceas (Klucas et al., 1983). Entretanto, a literatura carece de trabalhos com Ni. Em trabalho realizado por Campanharo (2010), a autora observou que as doses de Ni utilizadas não afetaram o crescimento, porém reduziram o teor de manganês (Mn) do feijoeiro.

Considerando a importância do Ni e Mo para a cultura do feijoeiro, realizou-se um trabalho em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar a influência do Ni e Mo sobre os componentes de rendimento, o crescimento e a composição mineral do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Ouro Vermelho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Federal de Educação do Espírito Santo (IFES), campus de Alegre, localizado no distrito de Rive, Alegre-ES, a 20° 45' 30" de latitude (S) e 41° 27' 23" de longitude (O) com altitude aproximada de 108,27 m, no período de março a junho de 2012. O clima da região predominante é quente e úmido no verão, e seco no inverno com uma precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23°C. O solo utilizado foi classificado como Argissolo Acinzentado distrófico.

Utilizou-se o arranjo fatorial 5 x 2, constituindo-se das combinações de adubação com 5 doses de Ni (0, 15, 30, 45 e 60 g ha⁻¹) e duas doses de Mo (0 e 80 g ha⁻¹), aplicados por via foliar, aos 25 dias após a semeadura, na forma de cloreto de Ni hexahidratado e molibdato de amônio, respectivamente. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 10 dm⁻³ contendo duas plantas. Utilizou-se para cada vaso, uma réplica, a fim de que na época do florescimento fosse avaliado o número de nódulos, bem como a coleta de folhas para as determinações dos nutrientes. O outro vaso da réplica possibilitou a colheita das sementes e as avaliações das vagens e plantas.

O solo utilizado foi coletado na profundidade de 0 a 20,0 cm, destorroado e passado em peneira de 6 mm de diâmetro (Tabela 1), sendo a adubação feita de acordo com as recomendações de Oliveira et al. (1991), que consistiu na aplicação de 3 g vaso⁻¹ de calcário dolomítico, 2,22 g vaso⁻¹ de uréia, 2,5 g vaso⁻¹ de cloreto de potássio e 12,81 g vaso⁻¹ de um adubo comercial composto por 24% de fósforo total, 11% de fósforo solúvel em ácido cítrico, 25% de cálcio e 4% de enxofre.

Tabela 1. Características químicas do Argissolo Acinzentado Distrófico sobre o qual foi instalado o experimento.

PH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	V	SB
H ₂ O	-----mg kg ⁻¹ -----			-----cmol _c dm ³ -----				-----%-----	
5,8	13	86	6	2,0	0,4	0,0	2,7	49	2,6
MO	Zn	Fe	Mn	Mo	Ni	Cu	B	T	t
dag kg ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----			-----cmol _c dm ³ -----					
1,7	7,7	89,5	92	2,2	8,4	24	1,0	5,3	2,6

Foi utilizado como material propagativo, sementes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Ouro Vermelho, inoculadas com estirpes de *Rhizobium tropici*, contendo no material turfoso 5 x 10⁹ bactérias por grama. A semeadura foi realizada no dia 20/03/2012 utilizando-se dez sementes por vaso. Dez dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste, mantendo-se duas plantas mais vigorosas em cada vaso. O controle de pragas e doenças foi feito com a aplicação dos inseticidas e fungicidas recomendados por Embrapa (2005).

Vinte e cinco DAS, no estágio de desenvolvimento V4, as doses de Ni e Mo foram aplicadas via foliar, por meio de um borrifador manual, visando molhar as folhas completamente, mas evitando o escorrimento.

No início do florescimento, aos 40 DAS, as plantas da réplica foram colhidas e separadas em folhas, ramos, raízes e nódulos. Na colheita, amostras de 100 g de sementes do outro vaso da réplica também foram obtidas para análise nutricional dos teores de N, Fe, Mo e Ni nas sementes. As folhas, raízes e sementes foram secas em estufa com ventilação forçada a 65°C, durante 72 horas. Posteriormente, folhas e sementes foram moídas em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh e acondicionadas em recipientes plásticos herméticos para posterior determinação dos teores de N, P, K, Fe, Mo e Ni. As raízes foram

pesadas para a determinação da massa seca e os nódulos radiculares foram contados separando-os cuidadosamente das raízes. A partir do teor de N na semente, foi calculada a porcentagem de proteína na semente, empregando-se o fator 6,25.

A determinação do teor de N total foi realizada a partir da digestão sulfúrica a 0,1% (Malavolta, 2006). Para os teores de P, K e Fe as amostras de folhas e grãos foram expostas a digestão nítrico-perclórica (Tedesco, 1985), e os teores de Ni e Mo por digestão via seca em mufla a 550°C. O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl (Malavolta et al., 1997), o P foi determinado por espectrofotometria pelo método da vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974), o K por fotometria de chama e o Fe por espectrofotometria de absorção atômica, o Mo e Ni, determinados por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite (Bataglia et al., 1983).

Por ocasião da colheita, obteve-se a altura das plantas, os componentes do rendimento (número de vagens por planta e número de sementes por vagem) e o peso das sementes.

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância. As comparações entre as médias para a adubação molíbdica foram feitas pelo teste F a 5% de probabilidade e para os efeitos de doses de Ni foi efetuada análise de regressão, sendo os modelos escolhidos segundo os melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2), pela significância dos coeficientes de regressão e do teste F da regressão, ambos até 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de N e K na folha não foram influenciados pela aplicação de Mo (Tabela 2), porém, estão dentro da faixa adequada proposta por Malavolta (1997). De forma semelhante, Nascimento et al. (2004) não verificaram efeito do Mo sobre o teor de N nas folhas do feijoeiro. Quanto ao K, os resultados obtidos discordam dos de Ferreira et al. (2002) e Pires et al. (2005) que verificaram que o Mo aumentou o teor de K do feijoeiro. Quanto ao efeito do Ni, as doses aplicadas

não influenciaram significativamente ($p < 0,05$) os teores de N e K. Entretanto, Campanharo (2010) observou que doses de até 100 g ha^{-1} de Ni reduziram o teor de N, mas não alteraram o teor de K do feijoeiro.

Tabela 2. Teor de N, P, K, Fe, Mo e Ni na folha do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação molíbdica.

Dose de Mo	N (g kg^{-1})	P (g kg^{-1})	K (g kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mo (mg kg^{-1})	Ni (mg kg^{-1})
0	42,73a	3,63a	2,65a	171,73a	0,43b	0,78a
80	40,12a	2,95b	2,47a	158,55b	2,13a	0,62b
Média	41,42	3,29	2,56	165,14	1,28	0,69

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste F em nível de 5% de probabilidade.

Observou-se que a adubação foliar com Mo reduziu o teor de P, Fe, Ni e aumentou consideravelmente o teor de Mo nas folhas do feijoeiro (Tabela 2). O Ni foi o nutriente que apresentou redução mais expressiva com 20,51% de redução, seguido do P, com 18,7%, e do Fe com, 7,7% de redução. Diferentemente do observado no presente trabalho, Ferreira et al. (2002) verificaram que doses de até 120 g ha^{-1} de Mo proporcionaram maiores teores de P, S, Ca, Mg e K nas folhas do feijoeiro. Por outro lado, o resultado observado para o Mo, corrobora os obtidos por Pessoa et al. (2000), Ferreira et al. (2003), Pires et al. (2005) e Rocha et al. (2011). As doses de Ni não influenciaram significativamente ($p < 0,05$) os teores foliares de N, P, K, Fe, Ni e Mo.

O teor de N e de proteína bruta na semente apresentaram resposta linear à aplicação das doses de Ni (Figuras 1 e 2). Entretanto o incremento máximo (7,84%) observado foi pequeno. De qualquer forma, possivelmente o aumento no teor de N e proteína na semente seja consequência de uma maior atividade enzimática da urease, proporcionada pelo Ni. Além disso, a influência do Ni no complexo enzimático hidrogenase, aumentando a eficiência da fixação de nitrogênio em leguminosas (Klucas et al., 1983) pode ter contribuído para uma maior acumulação de N.

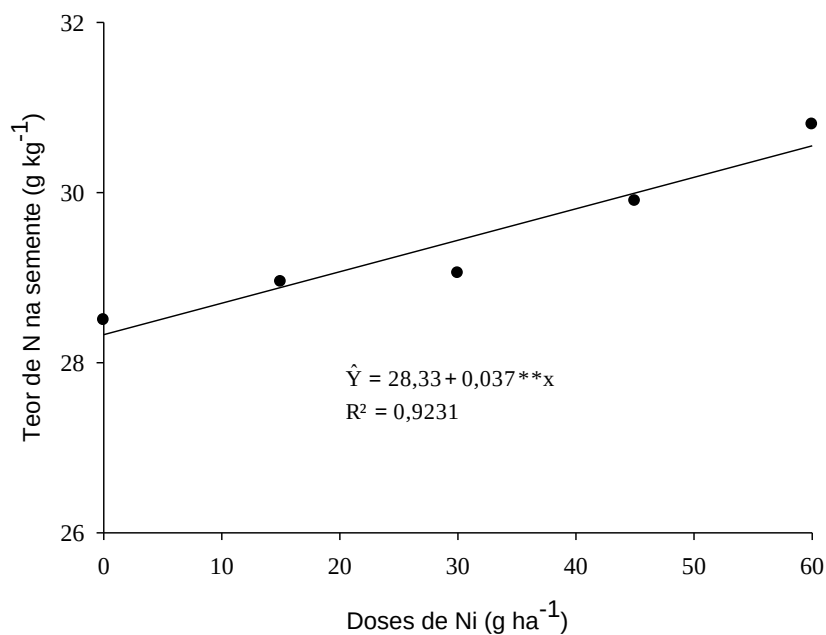


Figura 1. Teor de N na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação com Ni.

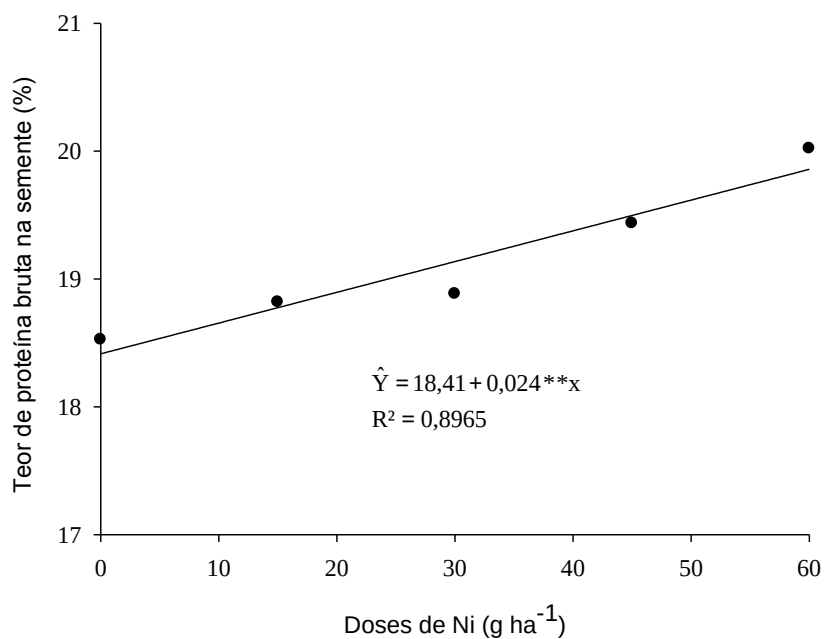


Figura 2. Teor de proteína bruta (PB) na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação com Ni.

Quanto ao efeito da aplicação foliar de Mo, pode-se observar pela tabela 3, que o Mo aumentou o teor de N e de PB na semente, resultado que corrobora os obtidos por Ferreira et al. (2002) que estudando o efeito de doses de até 120 g

ha⁻¹ de Mo sobre o feijoeiro também observaram que o Mo aumentou o teor de N e de proteína na semente do feijoeiro. Resultados semelhantes foram obtidos por Pessoa et al. (2000) e Kubota et al. (2008). Possivelmente, o Mo promoveu maior atividade da nitrogenase e redutase do nitrato, possibilitando maior acúmulo de N e de proteína na semente (Pessoa et al., 2001; Kubota et al., 2008). Vale ressaltar que feijões com maior teor de proteína bruta são associados a feijões de melhor qualidade.

Tabela 3. Teor de N, Mo e proteína bruta na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação molíbdica.

Dose de Mo	N (g kg ⁻¹)	Mo (mg kg ⁻¹)	Proteína bruta (PB) (%)
0	28,18b	0,099b	18,34b
80	30,69a	0,312a	19,90a
Média	29,44	0,2055	19,12

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste F em nível de 5% de probabilidade.

O teor de Mo na semente não foi influenciado significativamente ($p < 0,05$) pelas doses de Ni. Porém, como esperado, foi influenciado positivamente pela aplicação do Mo, promovendo um incremento de 215,15% (Tabela 3). Ferreira et al. (2003) estudando doses de até 120 g ha⁻¹ de Mo também observaram que a adubação molíbdica originou sementes com maiores teores de Mo. De acordo com Jacob Neto & Rosseto, (1998) boa parte do Mo absorvido é translocado para as sementes.

O Mo é o único micronutriente que, dependendo da espécie e a quantidade presente na semente, a quantidade de Mo na semente permite o crescimento normal da planta (Malavolta et al., 1997), o que demonstra a importância de se obter sementes com alto teor de Mo. Sementes com alto teor de Mo estão associadas a uma maior atividade da nitrogenase, maior acúmulo de biomassa e de N, melhor qualidade fisiológica com maior germinação e vigor das sementes (Kubota et al., 2008; Leite et al., 2009). Segundo Jacob-Neto & Franco. (1986) sementes contendo 3,5 µg semente⁻¹ de Mo não requerem adubação suplementar de Mo. Esse conteúdo foi obtido com uma aplicação foliar de 200 g ha⁻¹ de Mo. No presente trabalho o conteúdo de Mo das sementes sem adubação

molíbdica foi estimado em $2,29 \times 10^{-2} \mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, valor bem inferior ao obtido pelos autores acima.

Houve interação significativa para o teor de Fe na semente, porém não foi possível ajustar um modelo de regressão para as doses de Ni. Quanto ao efeito do Mo, observou-se que o mesmo reduziu o teor de Fe na semente na testemunha e quando foram aplicadas as doses de 15 e 60 g ha⁻¹ de Ni (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento da interação para o teor de Fe na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho, em função da aplicação de Ni (g ha⁻¹) e Mo (g ha⁻¹) via foliar.

Doses de Ni (g ha ⁻¹)	Mo (g ha ⁻¹)	
	0	80
	Fe (mg kg ⁻¹)	
0	60,27a	47,37b
15	56,70a	51,25b
30	50,92a	52,45a
45	51,60a	49,35a
60	57,95a	47,60b

As médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste F em nível de 5% de probabilidade.

O teor de Ni na semente foi influenciado significativamente de forma linear pelas doses de Ni estudadas (Figura 3). Quanto maior a dose de Ni aplicada maior foi o teor do nutriente na semente. O incremento máximo observado foi de 28,02% para a maior dose de Ni aplicada.

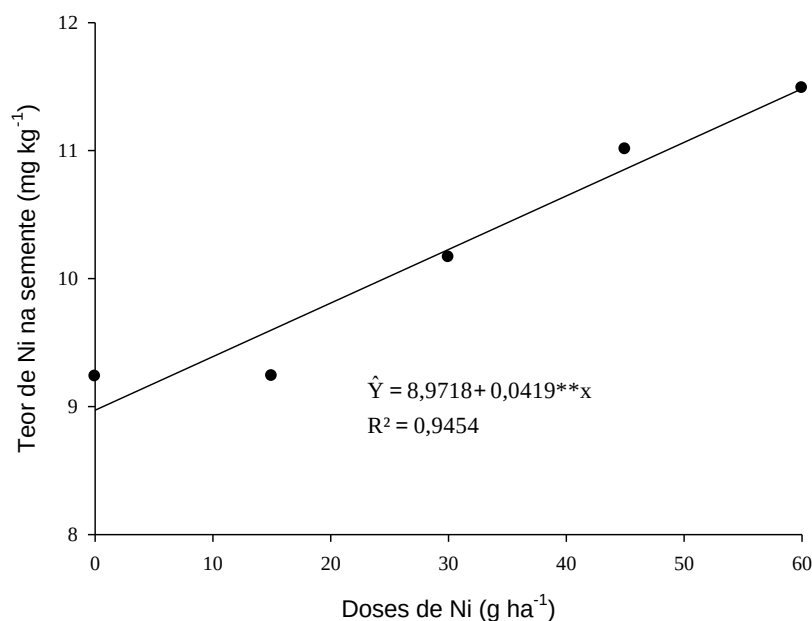


Figura 3. Teor de Ni na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à aplicação foliar de doses de Ni.

Quanto às características de crescimento e componentes de produção observou-se que a aplicação foliar de Ni e Mo não afetaram o peso de sementes, o número de sementes por vagem, o número de vagens por planta e a massa seca de raiz do feijoeiro (Tabela 5). Nascimento et al. (2004) e Barbosa et al. (2010) utilizando as mesmas doses de Mo empregadas no presente trabalho, também não obtiveram efeito da aplicação foliar de Mo sobre o número de sementes por vagem, o número de vagens por planta e a produtividade do feijoeiro. Quanto à massa seca de raiz, os resultados obtidos estão de acordo com os observados por Guareschi e Perin (2008) que, também, não verificaram influencia de doses de até 160 g ha⁻¹ de Mo sobre a massa seca de raiz do feijoeiro. Quanto ao efeito do Ni, Campanharo (2010) também não observou efeito sobre a massa seca de raiz do feijoeiro.

Tabela 5. Massa seca de raiz (MSR), número de sementes por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), peso de sementes (PS) e número de nódulos (NOD) do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em resposta à adubação molíbdica.

Dose de Mo	MSR (g)	NGV	NVP	PS (g)	NOD
0	5,92a	4,60a	17,85a	23,17a	148b
80	5,44a	4,77a	18,20a	24,39a	180a
Média	5,68	4,685	18,02	23,78	164

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste F em nível de 5% de probabilidade.

O número de nódulos não foi influenciado pelas doses de Ni. Campanharo (2010) também não encontrou efeito do Ni sobre o número de nódulos do feijoeiro. No entanto, a adubação com Mo aumentou em 21,62% o número de nódulos do feijoeiro (Tabela 5). Barbosa et al., (2010) observaram que mesmo sem a utilização de inoculação de sementes com bactérias do gênero *Rhizobium*, verificou-se a presença de nódulos no sistema radicular das plantas. Os autores salientaram que a aplicação de molibdênio pode melhorar a simbiose *Rhizobium*-feijoeiro, dada sua importância no metabolismo do nitrogênio.

As doses de Ni estudadas, independentemente da aplicação foliar ou não de Mo, não afetaram a altura de plantas. Quanto ao efeito da aplicação foliar de Mo dentro de cada dose de Ni utilizada pode-se observar (Tabela 6) que nas doses de 15 e 30 g ha⁻¹ de Ni, o Mo aumentou a altura de plantas, ao passo que na dose de 45 g ha⁻¹ a aplicação de Mo promoveu redução na altura de plantas.

Tabela 6. Desdobramento da interação para a altura da planta do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho, em função da aplicação de Ni (g ha⁻¹) e Mo (g ha⁻¹) via foliar.

Doses de Ni (g ha ⁻¹)	Mo (g ha ⁻¹)	
	0	80
	Altura da planta (cm)	
0	78,00a	72,75a
15	66,00b	77,25a
30	66,25b	74,33a
45	76,00a	66,33b
60	71,00a	71,50a

As médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste F em nível de 5% de probabilidade.

4. CONCLUSÕES

- Os teores foliares de N, P, K, Fe, Mo e Ni não foram influenciados pela aplicação foliar de Ni. A aplicação foliar de Mo reduziu os teores foliares de P, Fe e Ni e aumentou o teor foliar de Mo, porém não afetou o teor foliar de N e K.
- A aplicação foliar de Ni e Mo aumentou os teores de N e proteína bruta na semente. A aplicação foliar de Ni na dose de 60 g ha^{-1} , elevou em 28,02% o teor de Ni na semente e a aplicação de Mo promoveu incremento de 215,15% no teor de Mo na semente.
- A aplicação foliar de Ni e Mo não afetaram o peso de sementes, o número de sementes por vagem, o número de vagens por planta e a massa seca de raiz do feijoeiro. A aplicação de Mo aumentou em 21,62% o número de nódulos das raízes do feijoeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, G. F.; Arf, O.; Nascimento, M. S.; Buzetti, S.; Freddi, O. S. (2010) Nitrogênio em cobertura e molibdênio foliar no feijoeiro de inverno. *Acta Scientiarum Agronomy*, 32:117-123.
- Bataglia O. C.; Furlani, A. M. C.; Teixeira, J. P. F.; Furlani, P. R.; Gallo, J. R. (1983) Métodos de Análise Química de Plantas. Campinas: Instituto Agrônomo, 48p. (Boletim Técnico, 78).

- Biscaro, G. A.; Freitas Júnior, N. A.; Soratto, R. P.; Kikuti, H.; Goulart Júnior, S. A. R.; Aguirre, W. M. (2011). Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em solo de cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 4, p. 665-670.
- Biscaro, G. A.; Goulart Júnior, S. A. R.; Soratto, R. P.; Freitas Júnior, N. A.; Motomiya, A. V. A.; Calado Filho, G. C. (2009) Molibdênio via semente e nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em solo de cerrado. *Ciência e agrotecnologia*, v. 33, n. 5, p. 1280-1287.
- Braga, J. M. & Defelipo, B. V. (1974) Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21:73-85.
- Calonego, J. C.; Ramos Júnior, E. U.; Barbosa, R. D.; Leite, G. H. P.; Filho, H. G. (2010) Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. *Ciência e Agrotecnologia*, 41:334-340.
- Campanharo, M. (2010) Resposta do feijoeiro à aplicação de níquel. Tese de doutorado em produção vegetal. Universidade Estadual Norte Fluminense. CCTA. UENF. 138p.
- Companhia Nacional De Abastecimento. Safras 2011/2012: 12º levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_09_18_33_boletim_graos_-_setembro_2012.pdf>. Acesso em: 10 Novembro de 2012.
- Dixon, N. E.; Gazzola, C.; Blakeley, R. L.; Zerner, B. (1975) Jack bean urease (EC 3.5.1.5), a metalloenzyme. A simple biological role for nickel? *Journal of the American Chemistry Society*, 97:4131-4133.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, (2005) Sistema de produção nº 6. Disponível em

<http://www.cnpaf.embrapa.br/transfere\u00eancia/informa\u00e7\u00e3oestecnicas/publica\u00e7\u00f5esonline/comunicadotecnico.php>. 2005. Acesso em: 20 de Novembro de 2012.

Fernandes, F. A.; Arf, O.; Binotti, F. F. S.; Romanini J\u00fanior, A.; S\u00e1, M. A.; Buzetti, S.; Rodrigues, R. A. F. (2005) Molibd\u00eanio foliar e nitrog\u00eanio em feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, 27:7-15.

Ferreira, A. C. B.; Ara\u00fajo, G. A. A.; Cardoso, A. A.; Fontes, P. C. R.; Vieira, C. (2002) Influ\u00eancia do molibd\u00eanio contido na semente e da sua aplica\u00e7\u00e3o foliar sobre a composi\u00e7\u00e3o mineral de folhas e sementes do feijoeiro. *Revista Ceres*, 49:443-452.

Ferreira, A. C. B.; Ara\u00fajo, G. A. A.; Cardoso, A. A.; Fontes, P. C. R.; Vieira, C. (2003) Caracter\u00edsticas agron\u00f4micas do feijoeiro em fun\u00e7\u00e3o do molibd\u00eanio contido na semente e da sua aplica\u00e7\u00e3o via foliar. *Acta Scientiarum Agronomy*, 25:65-72.

Guareschi, R. F.; Perin, A. (2008) Efeito do molibd\u00eanio nas culturas da soja e feij\u00e3o via aduba\u00e7\u00e3o foliar. *Global Science and Technology*, 2:8-15.

Jasmim, J. M.; Monnerat, P. H.; Rosa, R. C. C. (2002) Efeito da omiss\u00e3o de N, Ni, Co e S sobre os teores de N e S em feijoeiro. *Revista Brasileira de Ci\u00eancia do Solo*, 26:967-975.

Jacob Neto J & Franco, A. A. (1986) Aduba\u00e7\u00e3o de molibd\u00eanio em feijoeiro. Serop\u00e9dica: Embrapa. 3p. (Comunicado T\u00e9cnico).

Jacob-Neto J & Rossetto, C. A. V. (1998) Concentra\u00e7\u00e3o de nutrientes nas sementes: o papel do molibd\u00eanio. *Floresta e Ambiente*, 5:171-183.

Klucas, R. V.; Hanus, F. J.; Russell, S. A.; Evans, H. J. (1983) Nickel, a micronutrient for hydrogen dependent growth of *Rhizobium japonicum* and

for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 80:2253-2257.

Kubota, F.Y.; Neto, A. C. A.; Araujo, A. P.; Teixeira, M. G. (2008) Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1635-1641.

Leal, R. M.; Prado, R. de M. (2008) Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 3:301-306.

Leite, U. T.; Araújo, G. A. A.; Miranda, G. V.; Vieira, R. F.; Pires, A. A. (2009) Influência do conteúdo de molibdênio na qualidade fisiológica da semente de feijão: cultivares Novo Jalo e Meia-Noite. *Revista Ceres*, 56:225-231.

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A.; (1997) Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 319 p.

Malavolta, E.; Moraes, M. F. de.; Lavres Junior, J.; Malavolta, M. (2006) Micronutrientes em metais pesados - essencialidade e toxidez, p.117-154. In: Paterniani, E. *Ciência, agricultura e sociedade*. Ed., Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 503p.

Nascimento, M. S.; Arf, O.; Silva, M. G. (2004) Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar. *Acta Scientiarum Agronomy*, 26:153-159.

Nascimento, M. S.; Arf, O.; Barbosa, G. F.; Buzetti, S.; Nascimento, R. S.; Castro, R. M.; (2009) Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar em feijoeiro de inverno no sistema plantio direto. *Scientia Agraria*, 10:351-358.

- Oliveira, A. J. de.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D. de.; Lourenço, S. (Coord.) (1991). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília; Embrapa-SEA. Documento 03 pag. 185. 392p.
- Pessoa, A. C. S.; Ribeiro, A. C.; Chagas, J. M.; Cassini, S. T. A.; (2000) Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:75-84.
- Pessoa, A. C. S.; Ribeiro, A. C.; Chagas, J. M.; Cassini, S. T. A. (2001) Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25: 217-224.
- Pires, A. A.; Araújo, G. A. A.; Leite, U. T.; Zampirolli, P. D.; Ribeiro, J. M. O.; Meireles, R. C. (2005) Parcelamento e época de aplicação foliar do molibdênio na composição mineral das folhas do feijoeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27:25-31.
- Pires, A. A.; Leite, U. T.; Araújo, G. A. de A.; Ferreira, A. C. de B.; Ribeiro, J. M. O. (2002) Acúmulo de Mo e de N pelo feijoeiro, cv. Manteigão Fosco 11, em resposta a doses crescentes de Mo. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7, Viçosa. *Resumos expandidos...* p.681-684.
- Rocha, P. R. R.; Araújo, G. A. A.; Carneiro, J. E. S.; Cecon, P. R.; Lima, T. C. (2011) Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio de plantio direto e convencional. *Revista Caatinga*, 24:9-17.
- Silva, M. V.; Andrade, M. J. B.; Moraes, A. M.; Alves, V. G. (2003) Fontes e doses de molibdênio via foliar em duas cultivares e feijoeiro. *Ciência e Agrotecnologia*, 27:126-133.

Tedesco, M. J.; Volkweiss, S. J.; Bohnen, H. (1985) Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 188 p. (Boletim Técnico, 5).

RESUMO E CONCLUSÕES

O Mo é um micronutriente essencial para as plantas por ser componente da enzima redutase do nitrato e da nitrogenase, ao passo que o Ni é essencial porque participa da estrutura e funcionamento da enzima urease, ou seja, ambos são micronutrientes que podem afetar o metabolismo de nitrogênio das plantas e conseqüentemente sua produtividade e qualidade. Com a finalidade de estudar o efeito do Mo e do Ni sobre a produtividade e qualidade do feijoeiro realizou-se 2 experimentos, sendo um em campo e outro em casa de vegetação. No experimento de campo verificou-se que a aplicação foliar de 80 g ha⁻¹ de Mo aumentou o teor de N na folha, a massa seca da parte aérea, o número de vagens por planta e reduziu o teor de Fe na semente. As doses de 0; 15; 30; 45 e 60 g ha⁻¹ de Ni aumentaram o teor de N na folha, o número de sementes por vagem e a massa seca da parte aérea. Houve efeito significativo da interação Ni x Mo para os teores de Ni e Fe nas sementes e para os teores foliares de N e P. O teor de Ni na semente foi reduzido na presença de Mo e doses elevadas de Ni. A aplicação de Ni aumentou o teor de Fe na semente na presença do Mo. A produtividade foi aumentada em 12,71% com a adubação molíbdica e em 27,5% com a aplicação da dose de 60 g ha⁻¹ de Ni. No experimento de casa de vegetação utilizando as mesmas doses, verificou-se que a aplicação foliar de Ni não influenciou os teores foliares de N, P, K, Fe, Mo e Ni, mas aumentou o teor de N, Ni e de proteína bruta na semente. A aplicação foliar de Mo reduziu os teores foliares de P, Fe e Ni, mas aumentou o teor foliar de Mo e o teor de N, Mo e de proteína bruta na semente. Observou-se que a aplicação foliar de Ni e Mo não afetaram o peso de sementes, o número de sementes por vagem, o número de

vagens por planta e a massa seca de raiz do feijoeiro. A aplicação de Mo aumentou em 21,62% o número de nódulos das raízes do feijoeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albino, U. B.; Campo, R. J. (2001). Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 527-534.
- Amane, M. I. V.; Vieira, C.; Cardoso, A. A.; Araujo, G. A. A. (1994). Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) as adubações nitrogenadas e molíbdica. *Revista Ceres*, Viçosa - MG, v. 41, n. 243, p. 202-216.
- Andrade, W. E. B.; Souza-Filho, B. F.; Fernandes, G. M. B.; Santos, J. G. C. (1999). Avaliação da produtividade e da qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro submetidas à adubação NPK. In: COMUNICADO TÉCNICO. Niteroi: PESAGRO-RIO, n.248, 5p.
- AnkeL-Fuchs, D. & Thaner, R. K., (1988). Nickel in biology: Nickel as an essencial trace element. from sulfate-reducing, photosynthetic, and hydrogen-oxidizing bactéria. In *The Bioorganic Chemistry of Nickel*. (J. R. Loncaster jr. ed.) pp. 93-110. Verlag Chemic, Weinheim.

- Antón, D. F. P., (1990). Toxidez do níquel em arroz e feijão. 144p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.
- Araujo, G. A. A.; Fontes, L. A. N.; Amaral, F. A. L.; Conde, A. R. (1987). Influência do molibdênio e do nitrogênio sobre duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, Viçosa - MG, v. 34, n. 2, p. 333-339.
- Ascoli, A. A.; Soratto, R. P.; Maruyama, W. I. (2008) Aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. *Bragantia*, v. 67, n. 2, p. 377-384.
- Awad, F.; Römheld, V.; (2000). Mobilization of heavy metals from contaminated calcareous soils by plant born, microbial and synthetic chelators and their uptake by wheat plants. *Journal of Plant Nutrition*, Athens, v. 23, 1847-1855.
- Barbosa, G. F.; Arf, O.; Nascimento, M.S.; Buzetti, S.; Freddi, O.S. (2010) Nitrogênio em cobertura e molibdênio foliar no feijoeiro de inverno. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 32, n. 1, p. 117-123.
- Bataglia O. C, Furlani A. M. C; Teixeira JPF, Furlani PR, Gallo JR (1983) Métodos de Análise Química de Plantas. Campinas: Instituto Agrônomo, 48p. (Boletim Técnico, 78).
- Berger, P. G. (1995). Adubação molíbdica na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): doses, épocas e modo de aplicação. 1995. 75 f. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

- Berger, P. G.; Vieira, C.; Araujo, G. A. A. (1996). Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, p. 473-480.
- Berger, P. G.; Vieira, C.; Araújo, G. A. A. & Cassini, S. T. A. (1995). Peletização de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com carbonato de cálcio, rizóbio e molibdênio. *R. Ceres*, 42:562-574.
- Berton, R. S., (1992). Fertilizantes e poluição. In Dechen, A. R., Boareto, A. E., Verdade, F. C. (coord). *Adubação produtividade e ecologia*. Campinas: fundação Cargill. 425p.
- Berton, R. S.; Pires, A. M. M.; Andrade, S. A. L de.; Abreu, C. A. de.; Ambrosano, E. J.; Silveira, A. P. D. da. (2006). Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.41, n.8, p.1305-1312.
- Biscaro, G. A.; Freitas Júnior, N. A.; Soratto, R. P.; Kikuti, H.; Goulart Júnior, S. A. R.; Aguirre, W. M. (2011). Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em solo de cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 4, p. 665-670.
- Biscaro, G. A.; Goulart Júnior, S. A. R.; Soratto, R. P.; Freitas Júnior, N. A.; Motomiya, A. V. A.; Calado Filho, G. C. (2009) Molibdênio via semente e nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em solo de cerrado. *Ciência agrotecnologia*, v. 33, n. 5, p. 1280-1287.
- Braga J. M.; Defelipo B. V. (1974) Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21:73-85.

- Bremner, J. M.; Malvaney, C. S. (1982). Nitrogen total. Methods of soil analysis. Part 2 2nd Ed. P 595-624. *American Society of Agronomy*. Madison Wisconsin.
- Brodrick, S. J.; Amjee, F.; Kipe-Nolt, J. A.; Giller, K. E. (1995). Seed analysis as a means of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. *Tropical Agriculture*, v. 72, n. 4, p. 277-284.
- Brodrick, S. J.; Sakala, M. K.; Giller, K. E. (1992). Molybdenum reserves of seed, and growth and N₂ fixation by *Phaseolus vulgaris* L. *Biology and Fertility of Soils*, v. 13, n. 1, p. 39-44.
- Brown P. H, Welch R. M., Madison J. T., (1990). Effect of nickel deficiency on soluble anion, amino acid, and nitrogen levels in barley. *Plant and Soil* 125: 19-27.
- Brown, P. H.; Welsh, R. M.; Cary, E. E., (1987). Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, Rockville, v. 85, n. 3, p. 801-803.
- Caires Neves, O. S.; Ferreira, E. V. De O.; Carvalho, J. G. de.; Souza Soares, C. R. F. (2007). Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de Umbuzeiro. *Revista Brasileira De Ciência do solo*, vol. 31 p. 485-490. Viçosa MG.
- Calonego, J. C.; Ramos Júnior, E. U.; Barbosa, R. D.; Leite, G. H. P.; Filho, H. G. (2010) Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. *Revista Ciência Agronomia*, v. 41, n. 3, p. 334-340.
- Camargo, O. A.; Alleoni, L. R. F.; Casagrande, J. C. (2001). Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos nos solos. In: Ferreira, M. E.; Cruz, M. C. P.; Raij, B. van; Abreu, C. A. (Ed). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq; FAPESP; POTAFOS, cap. 5, p.89-125.

- Campanharo M (2010) Resposta do feijoeiro à aplicação de níquel. Tese de doutorado em produção vegetal. Universidade Estadual Norte Fluminense. CCTA. UENF. 138p.
- Campanharo, A.; Campanharo, M.; Monnerat, H.; Espindula, C.; Rabello, W. S. (2010). Efeito de Doses de Níquel em Feijoeiro Caupi Cultivado em Dois Tipos de Solos. In XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010. Centro de Convenções do SESC.
- Checkai, R. T.; Corey, R. B.; Helmke, P. A. (1987). Effect of ionic and complexed metal concentration on plant uptake of cadmium and micronutrient metals from solution. *Plant soil*, 99:335-345.
- Coelho, F. C.; Freitas, S. P.; Monnerat, P. H.; Dornelles, M. S (2001) Efeitos sobre a cultura do feijão das adubações com nitrogênio e molibdênio e do manejo de plantas daninhas. *Revista Ceres*, v. 48, n. 278, p. 455-467.
- Coelho, F. C.; Vieira, C.; Mosquim, P. R.; Cassini, S. T. (1998) Nitrogênio e Molibdênio nas culturas do milho e do feijão, em monocultivo e em consórcio: I – Efeitos sobre o feijão. *Revista Ceres*, 45 (260): p. 393-407. Viçosa MG.
- Comack, R.; Fernández, V. M.; Schneider, K. (1988). Nickel in hydrogenases from sulfate-reducing, photosynthetic, and hydrogen-oxidizing bacteria. In the Bioorganic Chemistry of Nickel. (J. R. Lancaster jr. ed.) pp. 167-190. Verlag Chemie, Weinheim.
- Conab (2012) Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2011/2012. 12º levantamento. Setembro de 2012. Acesso em 20/12/2012. Disponível em conab.gov.br.

- Costa, P. e Sousa, P. Níquel em sistemas vivos. (2002). Disponível na Word WideWeb: [ttp://www.terravista.pt/enseada/5002/inorganica/niquel/svivos.htm](http://www.terravista.pt/enseada/5002/inorganica/niquel/svivos.htm)
- Dalton, D. A.; Evans, H. J.; Hanus, E. J. (1985).Simulation by nickel of soil microbial urease activity and urease and hydrogenase activity in soybeans grown in a low-nickel soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 88, p. 245-258.
- Dechen, A. R.; Haag, H. P.; Carmello, Q. A. de C. (1991). Função de micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Coord.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba-SP: Potafos, p. 65-78.
- Diniz, A. R.; Andrade, M. J. B.; Carvalho, J. G.; Ramalho, M. A. P.; Bergo, C. L. (1998). .Avaliação preliminar da resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de molibdênio e adubação nitrogenada em cobertura. *Ciência e Agrotecnologia*, 22 (2):226-231.
- Dixon, N. E.; Gazzola, C.; Blakeley, R. L.; Zerner, B. (1975) Jack bean urease (EC 3.5.1.5), a metalloenzyme. A simple biological role for nickel? *Journal of the American Chemistry Society*, v.97, p.4131-4133.
- Egreja Filho, F. B. (2000). Extração seqüencial de metais pesados em solos altamente intemperizados: Utilização de componentes modelos e planejamento com mistura ternárias na otimização do modelo. 287. Tese de Doutorado - UFV, Viçosa, MG.
- Embrapa, Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, (2005) Sistema de produção nº 6, dezembro de 2005, versão eletrônica, acesso em 20/11/2012, disponível em <http://www.cnpaf.embrapa.br/transferencia/informacoes tecnicas/publicacoes online/comunicadotecnico.php>. 2005.

- Eskew, D. L.; Welch, R. M.; Cary, E. E. (1983). Nickel: An essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. *Science* 222: 621-623.
- Favorim, J. L.; Marini, J. P. (2003). Importância dos micronutrientes para a produção dos grãos. ESALQ.
<http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias/4462>. Acesso 09/11/2010.
- Fernandes, F. A.; Arf, O.; Binotti, F. F. S.; Romanini Júnior, A.; Sá, M. A.; Buzetti, S.; Rodrigues, R. A. F. (2005) Molibdênio foliar e nitrogênio em feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 27, n. 1, p. 7-15.
- Ferreira A. C. B, Araújo G. A. A, Cardoso A. A, Fontes P. C. R, Vieira C (2002) Influência do molibdênio contido na semente e da sua aplicação foliar sobre a composição mineral de folhas e sementes do feijoeiro. *Revista Ceres*, 49:443-452.
- Ferreira, A. C. B.; Araujo, G. A. A.; Cardoso, A. A.; Fontes, P. C. R.;Vieira, C. (2003)a. Diagnose do estado nutricional molíbdica do feijoeiro em razão do molibdênio contido na semente e sua aplicação foliar. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas-RS, v. 9, n. 4, p. 397-401.
- Ferreira, A. C. B.; Araújo, G. A. A.; Cardoso, A. A.; Fontes, P. C. R.; Vieira, C. (2003)b Características agronômicas do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 25, n. 1, p. 65-72.
- Fullin, E. A.; Zangrande, M. B.; Lani, J. A.; Mendonça, L. F. de.; Filho, N. D. (1999) Nitrogênio e molibdênio na adubação do feijoeiro irrigado. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.34, n.7, p.1145-1149.

- Guareschi, R. F.; Perin, A. (2009) Efeito do molibdênio nas culturas da soja e feijão via adubação foliar. *Gl. Scienci. Technology*, v. 2, n. 3, p.8-15.
- Gupta, U. C.; Lipsett, J.; (1981). Molybdenum in soils, plants and animals. *Advance in Agronomy*, v. 34, n. 1, p. 73-115.
- Hall, J. L.; Williams, L. E. (2003). Transition metal transporters in plants. *Journal of Experimental Botany*, London, v. 54, p. 2601-2613.
- Heuwinkel, H.; Kirkby, E. A.; LE BOT, J.; Marschner, H. (1992). Phosphorus deficiency enhances molybdenum uptake by tomato plants. *Journal of Plant Nutrition*, Athens, v. 15, p. 549-568.
- Jacob Neto J & Franco A. A (1986) Adubação de molibdênio em feijoeiro. Seropédica: Embrapa. 3p. (Comunicado Técnico).
- Jacob Neto, J.; Franco, A. A. (1986). Conteúdo de Mo nas sementes para auto-suficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).
- Jacob Neto, J.; Rossetto, C. A. V. (1998). Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v.5, n.1, p.171-183.
- Jasmim, J. M.; Monnerat, P. H.; Rosa, R. C. C. (2002) Efeito da omissão de N, Ni, Co e S sobre os teores de N e S em feijoeiro. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 26, p. 967-975.
- Jesus Júnior, W. C.; Vale, F. X. R.; Coelho, R. R.; Hau, B.; Zambolim, L.; Berger, R. D. (2004). Management of angular leaf spot in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with molybdenum and fungicide. *Agronomy Journal*, Madison, v.96, n.3, p.665- 670.

- Kaiser, K. N.; Gridley, K. L.; Brady, J. N.; Phillips, T.; Tyerman, S. D. (2005) The role of molybdenum in agricultural plant production. *Annals of Botany*, v. 96, n. 5, p. 745-754.
- Klucas, R. V, Hanus, F. J, Russell, S. A, Evans H. J (1983) Nickel, a micronutrient for hydrogen dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 80:2253-2257.
- Kubota, F. Y.; Neto, A. C. A.; Araujo, A. P.; Teixeira, M. G. (2008) Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 32, n. 4, p. 1635-1641.
- Lantmann, A. F. Nutrição e produtividade da soja com molibdênio e cobalto. Artigos Embrapa, Coletânea Rumos e Debate. Londrina, 2002. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2002/artigo.2004-12-07.2621259858/>>. Acesso em: 05 maio 2009.
- Leal, R. M, Prado R de M (2008) Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 3:301-306.
- Leite, U. T, Araújo, G. A. A, Miranda, G. V, Vieira, R. F, Pires, A. A (2009) Influência do conteúdo de molibdênio na qualidade fisiológica da semente de feijão: cultivares Novo Jalo e Meia-Noite. *Revista Ceres*, 56:225-231.
- Leite, L. F. C.; Araujo, A. S. F de.; Costa, C. N.; Ribeiro, A. M. B.; (2009) Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao Molibdênio *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 492-497.

- Leite, U. T.; Araujo, G. A. A.; Miranda, G. V.; Vieira, R. F.; Carneiro, J. E. S.; Pires, A. A. (2007) Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 29, n. 1 p. 113-120.
- Lopes, A. S.; (1999) Micronutrientes: Filosofia de aplicação e eficiência agrônômica/ Alfredo Sheid Lopes- São Paulo, 58 p. boletim técnico nº8.
- MA, J.; Mitani, N.; Nagao, S.; Konishi, S.; Tami, K.; Iwashita, T.; Yano, M. (2004). Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. *Plant Physiology*, Rockville, v. 136, p. 3248-3289.
- Malavolta, E, Moraes, M. F de, Lavres Junior J, Malavolta M (2006) Micronutrientes em metais pesados - essencialidade e toxidez, p.117-154. In: Paterniani, E. Ciência, agricultura e sociedade. Ed., Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 503p.
- Malavolta E, Vitti, G. C, Oliveira, S. A (1997) Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 319 p.
- Malavolta, E. (1994). Fertilizantes e seu impacto ambiental: Metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo Produquímica. 153p.
- Malavolta, E. (2006). Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Editora Ceres. 638 p.
- Malavolta, E. Jornal Arquivo do Agrônomo Nº 10, março 1996. Tradução e adaptação do original "And well understood – as plants require molibdenium", PPI, Norcross, EUA.

- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. New York: *Academic Press*, 889 p.
- Marschner, H.; Cakmak, I. (1989.) High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. *Journal of Plant Physiology*, Stuttgart, v. 134, p. 308-315.
- Marschner, H.; FU, Q; Rengel, Z. (2003). Manganese availability and microbial populations in the rhizosphere of genotypes differing in tolerance to Mn deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Weinheim, 166, 712-718.
- Marschner, H.; Römheld, V.; Kissel, M. (1986). Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *Journal of Plant Nutrition*, Stuttgart, v. 9, p. 695-713.
- Mcbride, M. B. (1994). Environmental chemistry of soil. New York: *Oxford University Press*, 406p.
- Mendel, R. R.; Hänsch, R. (2002). Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *Journal of Experimental Botany*, London, v. 53, p. 1689-1698.
- Mishra, D., KAR, M. (1974). Nickel in plant growth and metabolism. *The Botanical Review*, New York, v. 40, n. 4, p. 395-449.
- Motta, C. V.; Monte Serrat, B.; Reismann, C. B.; Dionísio, J. A. (Editores). (2007) Micronutrientes na rocha no solo e na planta. Curitiba 2007 . Edição do autor. 246 p.

- Nascimento, M. S, Arf O, Barbosa, G. F, Buzetti, S, Nascimento, R. S, Castro, R. M. (2009) Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar em feijoeiro de inverno no sistema plantio direto. *Scientia Agraria*, 10:351-358.
- Nascimento, M. S, Arf, O, Silva, M. G (2004) Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar. *Acta Scientiarum Agronomy*, 26:153-159.
- Nascimento, M. S.; Arf, O.; Barbosa, G. F.; Buzetti, S.; Nascimento, R. S.; Castro, R. M. (2009) Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar em feijoeiro de inverno no sistema plantio direto. *Scientia Agraria*, v.10, n.5, p.351-358.
- Noguchi, K.; Dannel, F.; Pfeffer, H.; Römheld, V.; Hayashi, H.; Fujiwara, T. (2000). Defect in root-shoot translocation of boron in *Arabidopsis thaliana* mutant bor 1-1. *Journal of Plant Physiology*, Stuttgart, v. 156, p. 751-755.
- Oliveira, A. J de, Garrido, W. E, Araújo, J. D de, Lourenço S (Coord.) (1991). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília; Embrapa-SEA. Documento 03 pag. 185. 392p.
- Paiva, H. N., Carvalho, J. G. de., Siqueira J. O., Fernandes A. R., Miranda J. R. P. (2003). Efeito da aplicação de doses crescentes de níquel sobre o teor e o conteúdo de nutrientes em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). *Scientia Forestalis* n. 63, p. 158-166, jun.
- Pessoa, A. C. S.; Ribeiro, A. C.; Chagas, J. M.; Cassini, S. T. A. (2001) Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n.1, p. 217-224.

- Pessoa, A. C. S.; Ribeiro, A. C.; Chagas, J. M.; Cassini, S. T. A. (2000). Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "Ouro Negro" em resposta a adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa - MG, v. 24, p. 75-84.
- Pires, A. A, Araújo G. A. A, Leite U. T, Zampirolli P. D, Ribeiro J. M. O, Meireles R.C; (2005) Parcelamento e época de aplicação foliar do molibdênio na composição mineral das folhas do feijoeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27:25-31.
- Pires, A. A. (2002) Acúmulo de Mo e de N pelo feijoeiro, cv. Manteigão Fosco 11, em resposta a doses crescentes de Mo. n: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7, Viçosa. *Resumos expandidos...* Viçosa: UFV, 2002. . 681-684.
- Pires, A. A.; Araújo, G. A. A.; Miranda, G. V.; Berger, P. G.; Ferreira, A. C. B.; Zampirolli, P. D.; Leite, U. T. (2004) Rendimento de grãos, componentes do rendimento e Índice SPAD do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de época de aplicação e do parcelamento da aplicação foliar de molibdênio. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 5, p. 1092-1098.
- Polidoro, J. C. O (2001) Molibdênio na nutrição nitrogenada e na contribuição da fixação biológica do N associada a cultura da cana-de-açúcar. Tese de doutorado em agronomia e ciência do solo. UFRRJ.
- Rebafka, F.-P.; Ndunguru, B. J.; Marschner, H. (1993). Single superphosphate depresses molybdenum uptake and limits yield response to phosphorus in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) grown on an acid sandy soil in Niger, West Africa. *Fertilizer Research*, Dordrecht, v. 34, p. 233-242.
- Reis, T. C. (2002). Distribuição e biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCL e bio sólido. 105p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e

Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

Rocha, P. R. R.; (2008) Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. UFV. Dissertação de Mestrado. Viçosa MG.

Rocha, P. R. R.; Araújo, G. A. A.; Carneiro, J. E. S.; Cecon, P. R.; Lima, T. C (2011) Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio de plantio direto e convencional. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 2, p. 9-17.

Rodrigues, J. R. M.; Andrade, M. J. B.; Carvalho, J. C.; (1996). Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a doses de molibdênio aplicadas via foliar. *Ciência e Agrotecnologia*, 20 : 323-332.

Schlegel, H. G, Cosson, J. P, Baker, A. J. M. (1991) Nickel hyperaccumulating plants provide a niche for nickel resistant bacteria. *Botânica Acta* 104:18–25

Sfredo, G. J.; Borkert, C. M.; Nepomuceno, A. L. & Oliveira, M. C. N. (1997). Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 21:41-45.

Silva, M. V.; Andrade, M. J. B de.; Ramalho, M. A. P.; Alves, V. G. (2006). Aplicação foliar simultânea de molibdênio e alguns defensivos agrícolas na cultura do feijoeiro. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras. V.27, n.5, p.1160-1164.

Silva, M. V.; Andrade, M. J. B.; Moraes, A. M.; Alves, V. G. (2003) Fontes e doses de molibdênio via foliar em duas cultivares e feijoeiro. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 27, n. 1, p. 126-133.

- Silva, T. R. B.; Lemos, L. B.; Tavares, C. A. (2006) Produtividade e característica tecnológica de grãos de feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.41, n.5, p.739-745.
- Stout, P. R.; Meager, W. R.; Pearson, G. A.; Johnson, C. M. Molybdenum nutrition of crop plants. I. (1951). The influence of phosphate and sulphate on the absorption of molybdenum from soils and solution cultures. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 3, p. 51-87.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2004). *Fisiologia Vegetal*. Trad. Eliana Romanato Santarém et al. 3 ed. Porto Alegre Artmed.
- Takahashi, M.; Tereda, Y.; Nakai, I.; Nakanishi, H.; Yoshimura, E.; Mori, S.; Nishizawa, N. K. (2003). Role of nicotianamine in the intracellular delivery of metals and plant reproductive development. *The Plant Cell*, Rockville, v. 15, p. 1263-1280.
- Tedesco, M. J, Volkweiss, S. J, Bohnen, H. (1985) *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 188 p. (Boletim Técnico, 5).
- Teixeira, A. R.; (2006) Doses de molibdênio nas culturas do milho comum e milho pipoca. Dissertação de Mestrado UFV. Viçosa MG.
- Tesfamariam, T.; Römheld, V.; Neumann, G. P. (2004). Deficiency-induced root exudation of carboxylates contributes to Mo acquisition in leguminous plants. In: HARTMANN, A; SCHMID, M.; WENZEL, W.;
- Hinsinger, P. (Ed.). *Rhizosphere 2004: perspectives and challenges – a tribute to Lorenz Hiltner*. Munich: Neuherberg, (GSF-Report).

- Trobisch, S. (1966). Beitrag zur Aufklärung der pH- und Düngungsabhängigkeit der Mo-Aufnahme. *Albrecht-Thaer-Archiv*, Berlin, v. 10, p. 1087-1099.
- Uren, N. C. (1992). Forms, reactions, availability of nickel in soils. *Advences in Agronomy*. 48, *Academy Press*; INC. Edited by SPARKS, D. L.
- Vieira, C. (2006) Adubação mineral e calagem. In: Vieira, C.; Paula Júnior, T. J.; Borém, A. (Eds.). *Feijão*. 2 ed. Atual. Viçosa: UFV, p.115-142.
- Vieira, R. F.; Cardoso, E. J. B. N.; Vieira, C.; Cassini, S. T. A. (1998b). Foliar application of molybdenum in common bean. I. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of low fertility. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, n.10, p.2141-2151.
- Vieira, R. F.; Cardoso, E. J. B. N.; Vieira, C.; Cassini, S. T. A. (1998a). Foliar application of molybdenum in common bean. I. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of high fertility. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, n. 1, p. 169-180.
- Vieira, R. F.; Ferreira, A. C. B.; Prado, A. L. (2011) Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 2, p. 163-169.
- Vieira, R. F.; Salgado, L. T.; Ferreira, A. C. de B. (2005). Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, Philadelphia, v. 28, n. 2, p. 363-377.
- Walker, C. D.; Graham, R. D.; Madison, J. T.; Cary, E. E.; Welch, R. M. (1985). Effects of nickel deficiency on some nitrogen metabolites in cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Plant Physiology*, Bethesda, v. 79, n. 2, p. 474-479.

Wood, B. W.; Reilly, C. C.; Nyczepir, A. P. (2003). Nickel corrects mouse-ear. The Pecan Grower, Atlanta, v. 14, p. 3-5.

Wood, B.; O níquel na nutrição mineral e na defesa das plantas contra doenças. Rev. Better Crops V.91 n. 3 p. 27-27. Jornal 96, informações agronômicas n.119, setembro de 2007. Potafos www.potafos.org. P 08-11. Acesso 23/10/2010.

Yokoyama, L. P. (2002) Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: Aidar, H.; Kluthcouski, J.; Stone, L. F. Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 249-292.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TRABALHO 1

QUADRO 1A. Resumo da análise variância para os teores foliares de N, P, K, Fe, Mo e Ni do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em função da adubação foliar com Ni e Mo.

Causas da Variação	G.L.	Quadrado Médio					
		N	P	K	Fe	Mo	Ni
		----- g kg ⁻¹ -----			-----mg kg ⁻¹ -----		
Mo	1	182,76*	0,025 ^{ns}	2,65 ^{ns}	45,15 ^{ns}	0,038*	18,02*
Ni	4	101,03*	0,17 ^{ns}	3,90 ^{ns}	1080,13*	0,00032 ^{ns}	25,64*
Mo x Ni	4	29,06*	0,37*	4,15 ^{ns}	146,98 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Bloco	3	1,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}	15,37*	278,79 ^{ns}	0,0079*	10,64*
Resíduo	27	6,36	0,10	4,22	361,91	0,0010	1,58
Média		37,07	2,75	18,83	126,16	0,24	4,99
CV (%)		6,80	11,55	10,91	15,08	13,42	25,18

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns}Não significativo.

QUADRO 2A. Resumo da análise variância para os teores de N, Fe, Mo, Ni e proteína (PROT) na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em função da adubação foliar com Ni e Mo.

Causas da Variação	G.L.	Quadrado Médio				
		N	PROT	Fe	Mo	Ni
		-----g kg ⁻¹ -----	-----	-----mg kg ⁻¹ -----	-----	-----
Mo	1	88,21*	34,39*	669,94*	0,3887*	4,90*
Ni	4	3,81 ^{ns}	1,48 ^{ns}	71,51*	0,0058*	2,48 ^{ns}
Mo x Ni	4	4,41 ^{ns}	1,72 ^{ns}	94,71*	0,0069*	7,52*
Bloco	3	5,32 ^{ns}	2,08 ^{ns}	28,18 ^{ns}	0,0025 ^{ns}	7,16*
Resíduo	27	3,13	1,22	11,72	0,0016	0,96
Média		29,17	18,23	49,37	0,20	9,65
CV (%)		6,06	6,06	6,93	19,32	10,18

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns}Não significativo.

QUADRO 3A. Resumo da análise variância para a massa seca da parte aérea (MSPA), massa de 100 grãos (M100), produtividade (PRO), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV) e altura (ALT) do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em função da adubação foliar com Ni e Mo.

Causas da Variação	G.L.	Quadrado Médio					
		MSPA (g)	ALT	NSV	NVP	M100 (g)	PRO (kg ha ⁻¹)
Mo	1	2,55*	5,33 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	16,64*	0,31 ^{ns}	438902,5*
Ni	4	2,37*	10,80 ^{ns}	0,2101*	1,95 ^{ns}	5,22*	231543,1*
Mo x Ni	4	0,036 ^{ns}	9,54 ^{ns}	0,1276 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,01 ^{ns}	42986,9 ^{ns}
Bloco	3	2,06*	5,79 ^{ns}	0,1304 ^{ns}	3,31 ^{ns}	1,65 ^{ns}	88110,8 ^{ns}
Resíduo	27	0,38	9,46	0,065	1,46	1,46	51738,6
Média		5,06	72,99	4,96	8,33	25,13	1752,8
CV (%)		12,14	4,21	5,14	14,51	4,8	12,98

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE B – TRABALHO 2

QUADRO 1B. Resumo da análise variância para os teores foliares de N, P, K, Fe, Mo e Ni do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em função da adubação foliar com Ni e Mo.

Causas da Variação	G.L.	Quadrado Médio					
		N	P	K	Fe	Mo	Ni
		----- g kg ⁻¹ -----			-----mg kg ⁻¹ -----		
Mo	1	68,33 ^{ns}	4,668*	0,303 ^{ns}	1735,81*	28,82*	0,284*
Ni	4	39,84 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,068 ^{ns}	683,12*	0,14 ^{ns}	0,063*
Mo x Ni	4	33,53 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,089 ^{ns}	201,30 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,020 ^{ns}
Bloco	3	15,06 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,056 ^{ns}	361,54 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,029 ^{ns}
Resíduo	27	16,70	0,44	0,080	187,52	0,11	0,014
Média		41,43	3,29	2,56	165,14	1,28	0,70
CV (%)		9,86	20,14	11,02	8,29	25,91	16,74

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns}Não significativo.

QUADRO 2B. Resumo da análise variância para os teores de N, Fe, Mo, Ni e proteína (PROT) na semente do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em função da adubação foliar com Ni e Mo.

Causas da Variação	G.L.	Quadrado Médio				
		N	PROT	Fe	Mo	Ni
		-----g kg ⁻¹ -----		-----mg kg ⁻¹ -----		
Mo	1	63,00*	24,29	346,33*	0,4550*	0,67ns
Ni	4	6,67*	2,74	17,51ns	0,0065*	8,34*
Mo x Ni	4	3,04ns	1,52	68,73*	0,0019ns	2,34ns
Bloco	3	2,48ns	0,99	4,53ns	0,0023*	0,82ns
Resíduo	27	1,67	0,82	10,83	0,0008	0,91
Média		29,44	19,12	52,55	0,2058	10,23
CV (%)		4,39	4,75	6,26	13,66	9,31

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns}Não significativo.

QUADRO 3B. Resumo da análise variância para a massa seca de raiz (MSR), altura (ALT), número de sementes por vagem (NSV), número de vagens por planta (NVP), peso de sementes (PS) e número de nódulos (NOD) do feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho em função da adubação foliar com Ni e Mo.

Causas da Variação	G.L.	Quadrado Médio					
		MSR (g)	ALT	NSV	NVP	PS (g)	NOD
Mo	1	2,29 ^{ns}	9,67 ^{ns}	0,282 ^{ns}	1,22 ^{ns}	14,93 ^{ns}	10261,3*
Ni	4	0,54 ^{ns}	31,34 ^{ns}	0,055 ^{ns}	7,46 ^{ns}	6,19 ^{ns}	131,98 ^{ns}
Mo x Ni	4	2,21 ^{ns}	154,16*	0,007 ^{ns}	0,66 ^{ns}	11,47 ^{ns}	1035,2 ^{ns}
Bloco	3	0,47 ^{ns}	14,31 ^{ns}	0,073 ^{ns}	4,42 ^{ns}	5,95 ^{ns}	1232,0 ^{ns}
Resíduo	27	0,94	30,58	0,293	5,92	8,97	657,92
Média		5,68	71,94	4,68	18,02	23,78	163,97
CV (%)		17,06	7,69	11,55	13,50	12,59	15,64

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns}Não significativo.