

# RESPOSTA DO FEIJOEIRO À APLICAÇÃO DE NÍQUEL

**MARCELA CAMPANHARO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

FEVEREIRO - 2010

# RESPOSTA DO FEIJOEIRO À APLICAÇÃO DE NÍQUEL

**MARCELA CAMPANHARO**

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: Pedro Henrique Monnerat

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
FEVEREIRO - 2010

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 010/2010

Campanharo, Marcela

Resposta do feijoeiro à aplicação de níquel / Marcela Campanharo.  
- 2010. 138 f.: il.

Orientador: Pedro Henrique Monnerat  
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do  
Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias  
Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2010.  
Bibliografia: f.79 - 93.

1. *Phaseolus vulgaris* 2. *Vigna unguiculata* 3. Cloreto de níquel 4.  
Uréia 5. Urease. Universidade Estadual do Norte Fluminense - Darcy  
Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 635.652

# RESPOSTA DO FEIJOEIRO À APLICAÇÃO DE NÍQUEL

**MARCELA CAMPANHARO**

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 25 de Fevereiro de 2010.

Comissão Examinadora:

---

Prof. Gilmar Santos Costa (D.Sc. - Produção Vegetal) - IFF

---

Prof<sup>a</sup>. Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc. - Produção Vegetal) - UENF

---

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

---

Prof. Pedro Henrique Monnerat (Ph. D. Nutrição Mineral de Plantas) - UENF  
Orientador

Com muito carinho:

Aos meus pais, **José Paulino Campanharo** e **Maria de Lourdes Pancieri Campanharo**

Aos meus irmãos, **José Eduardo Campanharo** e **Alex Campanharo** e

Ao meu grande amigo e companheiro, **Marcelo Curitiba Espindula**

**DEDICO**

"... pra passar a noite na cocheira, tem que ter o mesmo cheiro do cavalo pra não incomodar".

Raul Seixas

## AGRADECIMENTOS

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

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade e condições concedidas para a realização do Curso.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual não seria possível a realização desse trabalho e pela taxa de bancada.

Ao Professor Ph. D. **Pedro Henrique Monnerat**, pela orientação e pelo exemplo de compromisso e persistência.

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

A **Geisa Lídia Mateus de Abreu, Guilherme Ribeiro e Wanderson Souza Rabello**, pela amizade, companheirismo e pela ajuda prestada durante a realização deste trabalho.

Ao **Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA**, pela concessão das sementes de feijoeiro caupi cv. IPA 206 e feijoeiro comum cv. Princesa para a realização dos experimentos. Ao professor **José Eustáquio de Souza Carneiro** do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, pela concessão de sementes de feijão comum cv. Pérola.

Aos meus pais **José Paulino Campanharo e Maria de Lourdes Pancieri Campanharo**, pelo amor e apoio incondicional e por sempre congregarem nossa família na unidade.

Aos meus irmãos **José Eduardo Campanharo** e **Alex Campanharo**, pelo apoio, incentivo e por serem um presente de Deus em minha vida. A minha cunhada **Patrícia Nunes Campanharo**, pela presença e companheirismo.

Ao meu querido **Marcelo Curitiba Espindula**, pela sua compreensão, incentivo e ternura que me ajudaram nos momentos difíceis. Pelas suas valiosas críticas e sugestões.

A **Kelly Regina Bada**, pela amizade, consideração e por tantos momentos de alegria.

A **Rejane Siqueira Bernardes**, **Derliane Martins Ribeiro** e **Maria Carolina Palácios**, por terem me recebido em Campos e pelos bons momentos vividos.

A **Alessandra Olmo Dardengo**, pela nossa amizade, que teve início diante de uma apostila sobre Transporte de Solutos, e que fluiu muito bem com nosso bom convívio em república, pelos desafios superados e por tantas conquistas.

Aos amigos **Josimar de Souza Andrade**, **Theófilo André Maretto Effgen**, **César Ronald Pereira**, **Hélio Júnior de Souza Crespo**, **Joseane Silva Oliveira**, **Juliana Mauri**, **Ramon Santos de Minas**, **Inês Ribeiro Machado**, **Márcia Cristina de Paula Cesário**, **Antonione Araújo Coelho**, **Renata Vianna Lima**, **Márcio Takeshi Sugawara**, **Guilherme Bastos Lyra**, **Jatinder Singh Multani**, **Virgínia Silva Carvalho**, **Gustavo Denarde Nogueira**, **Juliana Sobreira de Souza**, **Jalille Amim Altoé** e **Yaska Janaína Bastos Soares**, por terem dividido comigo alguns fardos e pelos momentos felizes.



## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Origem geoquímica do níquel .....	4
2.2. Aplicações do níquel na indústria .....	5
2.3. Níquel na agricultura .....	5
2.3.1. Níquel no solo .....	5
2.3.2. Níquel na planta .....	7
2.3.2.1. Importância do níquel para o feijoeiro .....	10
3. TRABALHOS .....	14
3.1. EFEITO DO NÍQUEL NA HIDRÓLISE DA URÉIA, CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL DO FEJJOEIRO CULTIVADO EM ARGISSOLO E NEOSSOLO .....	14
RESUMO .....	14
ABSTRACT .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
4. CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS .....	30
3.2. RESPOSTA DO FEJJOEIRO 'PRINCESA' CULTIVADO EM	

ARGISSOLO E NEOSSOLO À APLICAÇÃO DE NÍQUEL .....	34
RESUMO .....	34
ABSTRACT .....	35
1. INTRODUÇÃO .....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
4. CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS .....	48
3.3. EFEITO DE DOSES DE NÍQUEL EM FEIJOEIRO CAUPI CULTIVADO EM DOIS TIPOS DE SOLO.....	52
RESUMO .....	52
ABSTRACT.....	53
1. INTRODUÇÃO .....	54
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	58
4. CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS .....	68
3.4. SINTOMAS DE TOXIDAZ DE NÍQUEL EM FEIJOEIRO COMUM .....	69
RESUMO .....	69
ABSTRACT .....	70
REFERÊNCIAS .....	74
CONCLUSÕES GERAIS .....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
APÊNDICES .....	94
APÊNDICE A .....	95
APÊNDICE B .....	101
APÊNDICE C.....	112

## RESUMO

Campanharo, Marcela. D.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Fevereiro de 2010. Resposta do feijoeiro à aplicação de níquel. Orientador: Prof. Pedro Henrique Monnerat.

Para avaliar a resposta do feijoeiro à aplicação de níquel via foliar, conduziram-se três experimentos em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ. Empregaram-se cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) e dois solos (Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb) em blocos casualizados completos, com quatro repetições. No primeiro experimento foram cultivadas cinco plantas do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola por vaso e a aplicação de Ni foi feita por meio de um borrifador manual aos 25 dias após a semeadura (DAS), visando molhar as folhas completamente até o início do escorrimento. Sintomas de toxidez foram observados 36 horas após a aplicação de Ni nos tecidos jovens e maduros de todas as plantas que receberam Ni com predominância e maior intensidade nos tecidos maduros de plantas que receberam as maiores doses. Os folíolos e/ou folhas maduras apresentaram inicialmente manchas acinzentadas irregulares e aleatórias no limbo que em estágio mais avançado necrosaram. As folhas que se formaram posteriormente não apresentaram sintomas de toxidez e mantiveram o seu crescimento. Aos 33 e aos 40 DAS aplicou-se a cada tratamento uma solução contendo 10 g L<sup>-1</sup> de uréia p.a., utilizando o mesmo procedimento adotado com o Ni. Uma hora e meia após

essa última aplicação de uréia, coletou-se a parte aérea de uma planta de cada tratamento, separando-as em folhas e ramos. Esse procedimento foi repetido 4; 10; 24 e 48 horas após a aplicação de uréia para determinação dos teores de uréia e nitrogênio. Determinaram-se os teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, Cl e Ni nas folhas das plantas da última coleta. 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. No segundo experimento foram utilizadas quatro plantas por vaso do feijoeiro comum (*P. vulgaris* L.) cv. Princesa, que aos 23 DAS recebeu a aplicação foliar de Ni feita por meio de um pulverizador manual calibrado para dispensar cerca de 170 L ha<sup>-1</sup>, de modo a simular uma aplicação mecanizada no campo. Aos 38 e 42 DAS, no início da manhã, foram feitas aplicações foliares com solução contendo 10 g L<sup>-1</sup> de uréia p.a. utilizando a mesma técnica empregada para o Ni. Aos 43 DAS foram coletadas as quatro plantas de cada vaso no estágio de desenvolvimento R<sub>6</sub>. Foi feita a partição de raízes, ramos, folhas maduras (basais), folhas jovens (apicais), vagens e nódulos das quatro plantas de cada vaso para constituírem as amostras. Foram determinados os teores de uréia, N; P; K; Ca; Mg; S; B, Zn, Cu, Mn, Fe, Mo e Ni nos ramos, folhas maduras, folhas jovens e os teores de Mo e Ni em vagens. As doses de Ni aplicadas promoveram sintomas de toxidez apenas nas folhas primárias do feijoeiro caracterizadas 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. No terceiro experimento foi utilizado o feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, que aos 26 DAS recebeu Ni via foliar de modo similar ao segundo experimento. Aos 38 e 42 DAS foram feitas aplicações foliares com solução contendo  $10 \text{ g L}^{-1}$  de uréia p.a. no início da manhã utilizando a mesma técnica empregada para o Ni. Aos 47 DAS foram coletadas as quatro plantas de cada vaso. Foi feita a partição das plantas conforme procedimento adotado no segundo experimento. Foram determinados os mesmos nutrientes listados no segundo experimento. As doses de Ni aplicadas promoveram sintomas de toxidez similares àquelas caracterizadas no segundo experimento. A aplicação foliar de Ni aumentou os teores deste micronutriente 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 e Cu em folhas maduras; K e B em folhas maduras, folhas jovens e ramos e Zn em folhas maduras e ramos.

## ABSTRACT

Campanharo, Marcela. D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; February 2010. Response of bean plant to nickel application. Advisor: Prof. Pedro Henrique Monnerat.

In order to evaluate the response of the bean plant to nickel application through leaves, three experiments were driven in greenhouse in Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos of Goytacazes - RJ. Five nickel doses were used (0, 20, 40, 60 and 100 mg L<sup>-1</sup> of Ni) and two soils (Typic Quartzipsamment and a Tb dystrophic Red-Yellow Ultisol) in complete randomized blocks design, with four repetitions. In the first experiment were cultivated five plants by vase of the common bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) Pérola cv. and the application of Ni was made through a manual sprinkler to the 25 days after the sowing (DAS), aiming to wet the leaves completely up to the beginning of the flowing. Toxicity symptoms were observed 36 hours after the application of Ni in the young and mature fabrics with predominance and larger intensity in the mature fabrics. The foliolum and/or mature leaves presented irregular and random grayish stains initially in the limbo that in more advanced stadium coalesced and necrosed. The leaves that were formed later didn't present toxicity symptoms and maintained its growth. To the 33 and the 40 DAS it was applied to each treatment a solution containing 10 g of urea L<sup>-1</sup> p.a., using the same procedure adopted with Ni. An hour and a half after that urea application the aerial part of a plant of each treatment was collected separating them in leaves and stem. That procedure was

repeated 4, 10, 24 and 48 hours after the urea application for determination of the contents of urea and nitrogen. It was determined the contents of P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, Cl and Ni in the leaves of the plants of the last collection. The increase of the doses of Ni promoted decrease of the urea content, in the contents of Mn and quick decrease in the content of N. It also provided increment of the contents of Ni and didn't alter the absorption of P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe and Cl. In the second experiment, it was used four plants by vase of the common bean plant (*P. vulgaris* L.) Princesa cv. that to the 23 DAS received the leave application of Ni done through a manual spray gagged to release about 170 L ha<sup>-1</sup>, in way to simulate an automated application in the field. To the 38 and 42 DAS, in the beginning of the morning, it was made leave applications with solution containing 10 g urea L<sup>-1</sup> p.a. using the same employed technique for Ni. To the 43 DAS the four plants of each vase were collected at the development stadium R6. It was made the partition of roots, branches, mature leaves (basal), young leaves (apicals), green beans and nodules of the four plants of each vase to constitute each sample. It was determined the urea contents, N; P; K; Ca; Mg; S; B, Zn, Cu, Mn, Fe, Mo and Ni in the branches, mature leaves, young leaves and the contents of Mo and Ni in green beans. The doses of applied Ni promoted toxicity symptoms just in the primary leaves of the bean plant characterized by small stains polish red that didn't progress by the time and didn't interfere in the development of the plants. The doses of applied Ni didn't affect the urea contents and the mass dries of the branches and leaves of the plants. They also provided increment of the contents of Ni in the branches, leaves and green beans and didn't alter the absorption of the other appraised nutrients. The plants cultivated in Ultisol presented larger growth. In the third experiment the bean plant cowpea was used [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206 that to the 26 DAS it received Ni through leaves from a similar way to the second experiment. To 38 and 42 DAS it was made leave applications with solution containing 10 g urea L<sup>-1</sup> p.a. in the beginning of the morning using the same employed technique for Ni. To the 47 DAS the four plants of each vase were collected. It was made the partition of the plants as procedure adopted in the second experiment. It was determined the same striped nutrients in the second experiment. The doses of applied Ni promoted symptoms of similar toxicity to those characterized in the second experiment. The foliar application of Ni increased the contents of this micronutrient in stems, mature

leaves, young leaves and pods of bean cowpea, indicating high mobility of this micronutrient in the plant, but didn't alter the urea content, indicating lack of effect on the urease enzyme activity. The dry mass of the shoots and the levels of other nutrients were not affected by foliar application of Ni. Plants grown in Ultisol showed higher growth and higher urea and Cu contents in mature leaves, K and B in mature leaves, young leaves and twigs and Zn in mature leaves and branches.



## 1. INTRODUÇÃO

As questões relativas ao manejo de nutrientes e também a sua importância requer a adoção de técnicas corretas no que se refere à fonte, dose, época de aplicação dos fertilizantes, não somente por motivos econômicos e ambientais, como também para o uso racional dos recursos não renováveis, dos quais, depende a produção de alimentos (Fixen, 2009). Com isso, tem surgido a preocupação com o uso dos micronutrientes no que se refere à deficiência e toxicidade em plantas (Gonçalves Júnior et al., 2004; Kirkby e Römheld, 2007).

Os micronutrientes assumem especial relevância para culturas da família Fabaceae (leguminosa), que constituem uma das mais importantes famílias de plantas para a agricultura, por ser uma das principais fontes de alimento para o consumo humano, em especial nas zonas tropicais em desenvolvimento (Graham e Vance, 2000). O Brasil se destaca no cenário mundial como maior produtor de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e, na safra de 2008/09, produziu 3.497.800 toneladas (Agrianual, 2010). Essa cultura tem grande importância sócio econômica e é uma importante fonte protéica na dieta alimentar dos brasileiros, sendo um dos alimentos mais consumidos no país.

A importância dos micronutrientes se dá pelo fato de algumas espécies desta família, como o feijoeiro, possuírem habilidade de estabelecer simbiose com microrganismos fixadores de nitrogênio atmosférico  $N_2$ . Esse processo é dependente de micronutrientes como Mo e Fe, que são componentes do complexo enzimático da nitrogenase em microrganismo diazotróficos (Taiz e

Zeiger, 2004). Outro micronutriente importante nesse processo é o Ni, considerado essencial às plantas superiores (Eskew et al., 1983; Eskew et al., 1984; Brown et al., 1987a). Dentre os aspectos positivos do níquel para as plantas, destacam-se a participação na estrutura e no funcionamento da enzima urease (Brown et al., 1987b); no complexo enzimático hidrogenase (hidrogenase de captação de hidrogênio), que reprocessa parte do gás hidrogênio gerado durante a fixação biológica de nitrogênio por leguminosas (Klucas et al., 1983); e a participação na síntese de fitoalexinas, que melhora a resistência das plantas às doenças (Walker et al., 1985).

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).

Somente os efeitos tóxicos e a capacidade de algumas espécies tolerarem as altas concentrações de níquel em seus tecidos eram considerados até o final da década de 80 (Malavolta e Moraes, 2007). A descoberta feita por Dixon et al. (1975) que o Ni é um componente da enzima urease, que está presente em muitas espécies de plantas, provocou interesse científico pela pesquisa referente ao papel do Ni em plantas superiores. As leguminosas de clima tropical usam ureídeos como transportadores de nitrogênio e, estes, são hidrolisados formando uréia que é degradada a amônia durante a reação em que o Ni catalisa a enzima urease (Epstein e Bloom, 2006). Dessa forma, são necessárias mais informações no que se refere ao Ni na adubação de plantas, na busca de uma melhor

compreensão da resposta das plantas à aplicação desse micronutriente, informações estas ainda pouco relatadas na literatura.

A proposta deste trabalho foi verificar a resposta dos feijoeiros comuns (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola e Princesa e feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cv. IPA 206 a doses de níquel e tipos de solo, quanto à hidrólise da uréia aplicada via foliar, composição mineral e crescimento.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Origem geoquímica do níquel

O níquel é o 24º metal em abundância na crosta terrestre e sua concentração média é de 75 mg kg<sup>-1</sup>. Tem como principal origem geoquímica as rochas magmáticas (máficas e ultramáficas), sendo comumente encontrado em rochas serpentinizadas ou serpentinitos. De caráter ultramáfico, que apresentam mais de 70% de minerais máficos (ferromagnesianos), os serpentinitos possuem uma mineralogia pobre em sílica e alumínio, portanto, são muito enriquecidos em Mg e em alguns metais como Cr, Ni e Co (Souza, 2003; Vidal-Torrado et al., 2006).

As serpentinas são formadas em condições de temperatura e pressão mais próximas da superfície, o que lhes confere maior estabilidade em relação aos demais minerais primários intemperizáveis. O intemperismo mobiliza o níquel sob a forma de silicato hidratado e o concentra em fissuras da rocha em processo de alteração, próximas da superfície. Os minerais de níquel são: os sulfetos milerita e pentlandita (FeNi<sub>9</sub>S<sub>8</sub>), que se apresentam associados a outros sulfetos metálicos em rochas básicas, frequentemente acompanhados de cobre e cobalto; a garnierita ou silicato hidratado de níquel e magnésio (de cor verde maçã) se encontra associado às rochas básicas (peridotitos), que concentram-se por processos de intemperismo (Silva, 2001).

O nome serpentina define o subgrupo de minerais filossilicatos 1:1 trioctaedrais preenchidos por cátions diversos, como  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  e  $Al^{3+}$  (Vidal-Torrado et al., 2006).

## **2.2. Aplicações do níquel na indústria**

O níquel é um metal de transição, branco-prateado, dúctil, maleável, com densidade  $8,908 \text{ g cm}^{-3}$ , número atômico 28, massa atômica 58,68, que pertence ao grupo 10 (VIII B) da tabela periódica. Sua forma elementar apresenta cor branca prateada com tons amarelos. É mais duro que o ferro e é mau condutor de calor e eletricidade, porém forma ligas metálicas com diversas utilidades na indústria (Silva, 2001; Firme, 2005).

O metal é muito usado sob a forma pura para fazer a proteção de peças metálicas, pois oferece grande resistência à oxidação e à corrosão. Suas principais aplicações são em ligas ferrosas e não-ferrosas para consumo no setor industrial, em material militar, em moedas, em transporte/aeronaves, em aplicações voltadas para a construção civil e em diversos tipos de aços especiais, altamente resistentes à oxidação, como os aços inoxidáveis, bem como em ligas para fabricação de ímãs. O óxido de níquel é usado como catalisador em diversos processos industriais e, dos sais, o sulfato é o mais empregado, destinando-se a banhos para niquelagem, que é realizado à partir da galvanoplastia usando banhos de sais de níquel (Silva, 2001; Souza, 2003).

## **2.3. Níquel na agricultura**

### **2.3.1. Níquel no solo**

A disponibilidade de Ni para as plantas é regulada, em grande parte, pelas reações de adsorção que ocorrem entre micronutriente e as superfícies sólidas do solo. Essas reações são influenciadas pela umidade, pH, capacidade de troca de cátions, teor de argila e matéria orgânica no perfil, superfície específica, teor de óxidos, condições de oxidação/redução, adição de fertilizantes e absorção pelas

plantas. A característica que mais influencia a distribuição do Ni entre a fase sólida e a solúvel do solo é o pH, sendo a disponibilidade de Ni inversamente relacionada com essa propriedade. Solos com pH menor que 5,5 apresentam maior disponibilidade de Ni, enquanto a matéria orgânica diminui a sua disponibilidade para as plantas devido a formação de quelatos orgânicos (Mishra e Kar, 1974; Pombo et al., 1989; Mattiazo-Prezzoto, 1994; Berton, 1997; Berton et al., 2006; Teixeira et al., 2005).

O Ni ocorre em vários estados de oxidação (-1) a (+4), sendo o (+2) o estado mais comum e estável. A maioria dos micronutrientes metálicos como o Ni na solução do solo não se encontra na forma iônica livre e sim complexado na matéria orgânica por ligações orgânicas e inorgânicas ou na forma de cátions, sendo adsorvidos pelas cargas da superfície dos colóides (Souza, 2003; Centurión Maciel, 2003). Piccini (1990), ao trabalhar com dois solos, Latossolo Roxo distrófico e Terra Roxa Estruturada, verificou após a aplicação de calcário, que o teor de Ni extraível com extrator DTPA diminuía e ocorria redução do efeito tóxico de altas doses desse micronutriente para o feijoeiro.

Os teores de níquel em solo natural obtidos por Gabos (2008) em Latossolo Vermelho distrófico em Campinas foi  $<0,01 \text{ mg dm}^{-3}$  em profundidade 0-20 cm e  $0,04 \text{ mg dm}^{-3}$  em profundidade 20-40 cm. O valor de referência de qualidade (concentração de determinada substância no solo que o define como limpo) para o Ni é  $13 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo (massa seca) e o de prevenção (concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo) é  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo (massa seca) (Cetesb, 2006).

As concentrações de Ni nos solos variam e são dependentes do material de origem. O Ni pode ser incorporado aos solos a partir de emissões atmosféricas provenientes da combustão do petróleo (combustíveis e óleos), combustão do carvão, fundição e mineração. Fertilizantes fosfatados e corretivos possuem uma pequena quantidade de Ni em sua composição, sendo a adição máxima anual de metais ao solo por meio de fertilizantes, permitida no Estado de Washington, EUA  $0,800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Rodella, 2005). O lodo de esgoto também possui concentração geralmente elevada de Ni, porém pode variar conforme a procedência (Reis, 2002; Souza, 2003; Firme, 2005). O limite máximo de Ni

admitido em fertilizantes orgânicos é 70 mg kg<sup>-1</sup> para serem produzidos, importados ou comercializados (MAPA, 2006).

O Ni é um micronutriente que ocorre associado a carbonatos, fosfatos e silicatos, sendo estável em solução, e capaz de migrar por longas distâncias. Sua distribuição está ligada a matéria orgânica, óxidos amorfos e frações de argila, sendo que a matéria orgânica possui a capacidade de adsorver o Ni e torná-lo imóvel (Berton, 1997).

### 2.3.2. Níquel na planta

Até a década de 80 o Ni não era considerado essencial para as plantas, sendo o foco dos seus estudos voltado para o seu efeito tóxico (Galdos et al., 2004, Maldonado, 2005; Kopittke et al., 2007). Procurava-se entender como plantas hiperacumuladoras de Ni eram capazes de tolerar as altas concentrações desse elemento (Zeitouni, 2003; Ingle et al., 2005).

As plantas absorvem o Ni na forma de cátion divalente Ni<sup>2+</sup>, sendo o seu teor na solução do solo muito pequeno, ainda que possa ser mais abundante nos solos onde ocorrem serpentinas. A mobilidade no floema é alta: durante o processo de senescência, até 70% do Ni acumulado na parte aérea pode deslocar-se para as sementes (Zeitouni, 2003). Um estudo da partição de nutrientes nas folhas, lenho e flores de citrus cv. Natal mostrou que o Ni é o micronutriente em maior proporção nas flores (Malavolta et al., 2006).

Relatos de que adições de Ni refletem em desenvolvimento das plantas sob condições experimentais controladas indicam que a deficiência de Ni afeta o crescimento de plantas e seu metabolismo. Estes incluem efeitos no (a) crescimento das plantas, (b) senescência das plantas, (c) metabolismo de N e (d) captação de Fe (Brown et al., 1987a).

A descoberta feita por Dixon et al. (1975) que o Ni é um componente da enzima urease que está presente em muitas espécies de plantas provocou interesse científico pela pesquisa referente ao papel do Ni em plantas superiores. Desde então, tem-se obtido respostas de plantas a aplicações de Ni sob condições de campo com a noqueira pecan (Wood et al., 2004a,b,c), com abobrinha zucchini, arroz, tomate, cedro e umbuzeiro crescidos em soluções nutritivas (Gerendás e Sattelmacher, 1997; 1998; Tan et al., 2000; Paiva et al.,

2002; Neves et al., 2007) e com a soja em meios de cultura de tecido utilizando a uréia como fonte de nitrogênio exclusivamente (Polacco, 1977).

Ao estudarem efeito do Ni em cevada, Brown et al. (1987a) afirmaram que as plantas não podem completar seu ciclo de vida sem o suprimento adequado de Ni e concluíram que ele satisfaz os requerimentos para ser classificado como micronutriente para plantas superiores. Neste estudo, avaliaram-se três gerações de plantas de cevada, cultivadas em solução nutritiva purificada, com ou sem Ni, em que as sementes obtidas na primeira geração foram colocadas para germinar e crescidas novamente em solução com ou sem Ni. As sementes da terceira geração foram colocadas para germinar, observou-se que aquelas crescidas nas gerações anteriores, na ausência de Ni, não apresentaram viabilidade, estando o percentual de germinação relacionado com o teor de Ni nas sementes. Verificou-se que as taxas de germinação dos grãos dependem dos níveis de Ni fornecidos às plantas-mãe e que as plantas cultivadas sem Ni na solução nutritiva produziram sementes com percentagem de germinação próxima de zero, e que as plantas cultivadas com  $1,0 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Ni na solução nutritiva produziram sementes com percentagem de germinação superior a 95%.

Considerando-se que o Ni tem função direta na germinação de sementes, que na sua ausência esta é comprometida e que ele não pode ser substituído por outro nutriente, fez-se necessário o reconhecimento de sua essencialidade (Brown et al., 1987a). Posteriormente, na publicação de Marschner (1995), ele foi incluído na lista dos micronutrientes de plantas e Raven et al. (2001) e Taiz e Zeiger (2004) também apresentam-no como micronutriente.

Na cultura do arroz, Gerendás et al. (1998) verificaram que o crescimento das plantas que receberam  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  não foi afetado pela aplicação do Ni. Porém, nas plantas cultivadas com uréia e baixas doses de Ni, o crescimento foi reduzido e houve acúmulo de uréia, pelo comprometimento da atividade da urease. Essas plantas também apresentaram reduzido teor de aminoácidos, mostrando complicações no metabolismo do nitrogênio. Tan et al. (2000) observaram que os teores de nitrogênio total em folhas de tomateiro adubadas com uréia aumentaram com a aplicação de Ni.

Além das raízes, o Ni pode ser absorvido pelas folhas e translocado para outros órgãos da planta, como resultados observados em folhas de aveia, soja, tomate e berinjela pulverizadas com soluções contendo Ni. Plantas de algodoeiro



pulverizadas com uma solução contendo Ni ( $234,8 \text{ mg L}^{-1}$ ) na forma de  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  apresentaram aumento no número de gemas e de flores, na velocidade de crescimento das maçãs e no teor de óleo das sementes (Andreeva, 2001, citado por Seregin e Kozhevnikova, 2006).

Aplicações de baixas doses de Ni podem ser benéficas para o desenvolvimento das plantas (Brown et al., 1987a). Neves et al. (2007) verificaram resposta positiva das mudas de umbuzeiro às menores doses de Ni na solução nutritiva, enquanto nas maiores concentrações as mudas acumularam menos massa seca, indicando efeito tóxico.

Existe alta variabilidade entre as espécies vegetais quanto à capacidade de concentrar Ni em seus tecidos. Mishra e Kar (1974) verificaram, em ensaios utilizando-se solução nutritiva, que o Ni é tóxico às plantas em níveis de 1 a  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  na massa seca dependendo da espécie. Doses acima de  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni afetaram negativamente os teores foliares de Mn e Zn na massa seca do feijoeiro e de Mg, Mn e Zn no arroz. A dose de  $120 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni na forma de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  aplicada via solo afetou negativamente somente o teor foliar de Ca para ambas as culturas (Piccini e Malavolta, 1992). Marschner (1995) afirmou que valores superiores a  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni na massa seca podem ocasionar toxidez para a maioria das culturas. No entanto, Paiva (2000) afirmou que a toxidez de Ni se expressa quando sua concentração na massa seca das plantas é superior a  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ , com exceção das espécies hiperacumuladoras.

Entre as espécies hiperacumuladoras, também ocorre grande variação da concentração de Ni na massa seca das plantas. Concentrações de Ni em folhas de *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* oscilaram entre 1.800 e  $31.200 \text{ mg kg}^{-1}$  dentro de uma mesma população (Kidd et al., 2007). Liu et al. (2003) observaram concentrações médias que variaram entre 4.200 e  $20.400 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni em folhas de *A. murale* e *A. corsicum*, respectivamente. Variações similares (entre 4.000 e  $21.000 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foram encontradas também em diferentes populações de *A. bertolonii* (Galardi et al., 2007).

Em condições de deficiência de Ni, plantas de cevada não produzem sementes viáveis devido a um desarranjo no processo de enchimento e maturação após a formação das sementes (Brown et al., 1987a). Em plantas de noqueira pecan (*Carya illinoensis*), o sintoma de deficiência é chamado “orelha-de-rato” e 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. As folhas ficam pequenas com clorose marginal, há senescência prematura, produção diminuída de sementes e folhas e a madeira fica quebradiça. Esses sintomas chegaram a ser diagnosticados como dano devido ao frio da primavera antes da abertura das gemas. Depois foi atribuído a um vírus, à deficiência de Mn ou de Cu. Em 2004 foi descoberto que este sintoma é resultado da severa deficiência de Ni (Wood et al., 2004a,b,c), pois os solos dos pomares de noqueira pecan, onde ocorreu deficiência severa, apresentaram de 0,4 a 1,4 kg ha<sup>-1</sup> de Ni (Wood et al., 2004c).

A deficiência de Ni impede a ação da enzima urease (uréia amidohidrolase) (Dixon et al., 1975) causando acúmulo de uréia, o que causa manchas necróticas nas folhas em pontos de acumulação de uréia ou dos ácidos oxálico e láctico, o que indica também mudanças no metabolismo do carbono, em particular diminuição na respiração. Com isso, o metabolismo de ureídeos, aminoácidos e de ácidos orgânicos é perturbado e os ácidos oxálico e málico se acumulam (Bai et al., 2006).

### **2.3.2.1. Importância do níquel para o feijoeiro**

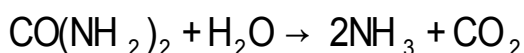
As leguminosas constituem uma das mais importantes famílias de plantas para a agricultura (Vance et al., 1988), sendo uma das principais fontes de alimento para consumo humano, em especial nas zonas tropicais em desenvolvimento (Graham e Vance 2000).

O Ni possui importante participação na assimilação do nitrogênio em plantas, principalmente as dependentes da fixação simbiótica do N<sub>2</sub>, como as leguminosas, pois estimula a atividade da hidrogenase em bacteróides nos nódulos formados nas raízes dessas plantas (Klucas et al., 1983). Walker et al. (1985), em trabalho realizado com caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], sugeriram que, o Ni é ativador de metaloenzimas e participa do metabolismo do nitrogênio em leguminosas durante a fase reprodutiva e de crescimento. Essas enzimas estão envolvidas em reações de oxidação-redução (por isso pertencem à classe das óxido-redutases), conhecidas por possuírem agregados constituídos por átomos de Fe e S, como é o caso da nitrogenase e da hidrogenase (Iniguez et al.,

2004; Taiz e Zeiger, 2004). A redução do  $N_2$  a  $NH_3$  se dá pela ação da enzima nitrogenase (Hungria e Vargas, 2000), que tem sua eficiência aumentada pela atividade da hidrogenase em o que níquel é essencial com suas funções catalíticas (Klucas et al., 1983; Marschner, 1995).

A fixação biológica de nitrogênio desempenha papel importante no aporte de nitrogênio aos sistemas agrícolas por reduzir enzimaticamente o  $N_2$  em amônia ( $NH_3$ ), forma metabolicamente utilizável pela maior parte dos organismos. Para evitar a toxicidade da amônia, os microrganismos diazotróficos convertem-na rapidamente em formas orgânicas nos nódulos das raízes, antes de serem transportadas pelo xilema para a parte aérea. As leguminosas podem ser divididas em exportadoras de amidas ou exportadoras de ureídas, com base na composição da seiva do xilema (Thomas e Sodek, 2006). Os ureídeos desempenham papel essencial na principal forma de transporte de nitrogênio em leguminosas tropicais. Foram descobertos em sementes secas de feijão de vagem e também pelo aumento na concentração de ureídeos nos cotilédones e extremidades da radícula e gancho apical no momento da germinação, o que indica que há armazenamento de nitrogênio durante o desenvolvimento de vagens e grãos (Quiles et al., 2009).

As amidas (principalmente os aminoácidos asparagina e glutamina) são exportadas por leguminosas de regiões temperadas, tais como ervilha (*Pisum sativum* L.), trevo (*Trifolium* sp.), fava (*Vicia faba* L.) e lentilha (*Lens esculenta* Moench). As ureídas são exportadas por leguminosas de origem tropical, tais como a soja (*Glycine max* L.), feijão comum (*P. vulgaris* L.), amendoim (*Arachis hypogea* L.) e o feijão caupi [*V. unguiculata* (L.) Walp]. Os três principais ureídeos são: ácido alantóico, alantoína e citrulina. Esses compostos são liberados no xilema e transportados para a parte aérea, onde é necessário que o ureídeo seja degradado para que a planta utilize o produto de sua degradação. A liberação do N ureídico é um processo inteiramente dependente da enzima urease (Polacco et al., 1985; Marengo e Coelho Netto, 1994), isso porque o ureídeo é hidrolisado, formando uréia, e esta é degradada a amônia que é catalisada pela enzima supracitada, conforme a reação:



Os ureídeos transportados a partir do xilema são intensamente metabolizados para outras formas nitrogenadas antes de serem translocados da seiva floemática para as partes vegetativas (Marenco e Coelho Netto, 1994). A uréia, ao ser degradada em amônia, é rapidamente convertida a amônio e entra na rota de assimilação do nitrogênio na planta (Taiz e Zeiger, 2004).

Apesar de o Ni ser importante no metabolismo do N em leguminosas, o feijoeiro é considerado bastante sensível a doses de Ni em relação a outras culturas. Sua produção é reduzida significativamente quando os teores foliares de Ni estão acima de  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ , bem como há efeito negativo nos teores de clorofila total, devido a menor absorção de Mg pelas plantas provocadas pelas altas doses de Ni (Piccini, 1990).

O Ni se acumula em maior quantidade nas folhas do feijoeiro que nos ramos, nos tecidos mais jovens e nos grãos (Hunter e Vergnano, 1952). Na parte aérea do feijoeiro, Wallace et al. (1977a) obtiveram 2 a  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  e, em plantas de arroz, Wallace et al. (1977b) obtiveram teores que variaram de 2 a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . No entanto, Vanselow (1951) observou, em folhas novas de citrus, os teores 28 e  $55 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni e em folhas maduras 40 e  $140 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni quando aplicados 25 e  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni no solo, respectivamente, já Cottenie et al. (1979) afirmaram que a concentração interna de  $8 \text{ mg kg}^{-1}$  na massa seca de azevém (*Lolium perenne*) é um resultado normal e valores acima de  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  podem provocar toxidez.

Os sintomas de toxidez de Ni em feijoeiro são clorose internerval e pequenos pontos irregulares necróticos, ligeira pigmentação bruno avermelhada nas folhas primárias e diminuição no crescimento da parte aérea e raízes (Piccini, 1990). A fase inicial da toxidez provocada pelo Ni não está totalmente definida, porém nas fases moderadas e agudas a toxidez produz clorose, geralmente semelhante aos sintomas de deficiência de Fe (Berton et al., 2006).

Em cereais, as cloroses são brancas ou amarelo-claro, podendo se apresentar na forma de estrias nas folhas. Nas plantas dicotiledôneas, aparecem manchas cloróticas entre as nervuras das folhas, semelhantemente à deficiência de Mg. Liu e Wang (1993), citados por Berton (2006), verificaram a toxidez de Ni em arroz e milho e concluíram que houve redução de produção com as doses de Ni entre 14 e  $403 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, sendo esse efeito mais acentuado para o milho. Piccini e Malavolta (1992) avaliaram a toxidez de Ni em diferentes cultivares de feijão, utilizando solução nutritiva. A produção de feijão foi inversamente

proporcional à concentração de Ni na solução. Na dose máxima, 4 mg L<sup>-1</sup> de Ni em solução, as cultivares não produziram sementes. Houve queda na produtividade de arroz e feijão cultivados em vasos quando a dose de Ni foi superior a 30 mg kg<sup>-1</sup> de solo. A toxidez de Ni nas plantas é resultado de sua ação no fotossistema, causando distúrbios no ciclo de Calvin e inibição do transporte elétrico por causa das quantidades excessivas de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações de carboxilação da fotossíntese (Krupa et al., 1993).

### **3. TRABALHOS**

#### **3.1. EFEITO DO NÍQUEL NA HIDRÓLISE DA URÉIA, CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM ARGISSOLO E NEOSSOLO**

##### **RESUMO**

A descoberta de que o Ni é um componente da enzima urease, presente em muitas espécies de plantas, provocou interesse científico pela pesquisa referente ao papel do Ni em plantas superiores. Desta forma, o objetivo neste trabalho foi verificar o efeito de doses de Ni na hidrólise da uréia aplicada via foliar, no crescimento e na composição mineral do feijoeiro comum 'Pérola' cultivado em dois solos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, utilizando-se o esquema fatorial 5 x 2 no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco concentrações de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) na forma de - NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O via foliar e dois solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb. 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.

**Palavras-Chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Cloreto de níquel. Urease.

## **EFFECT OF NICKEL ON THE UREA HYDROLYSIS, GROWTH AND MINERAL COMPOSITION OF BEAN PLANT CULTIVATED IN ULTISOL AND QUARTZ**

### **ABSTRACT**

The finding that Ni is a component of the urease enzyme, present in many plant species, has caused scientific interest in research on the role of Ni in higher plants. Thus, the objective of this study was to determine the effect of doses of Ni in the urea hydrolysis applied to leaves on growth and mineral composition of common bean 'Pérola' grown in two soils. The experiment was carried out in a greenhouse at Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. The experiment was performed in a 5 x 2 factorial scheme in a randomized block design with four replications. The treatments consisted of five nickel concentrations (0, 20, 40, 60 and 100 mg L<sup>-1</sup> Ni) to form - NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O foliar and two soils, Typic Quartzipsamment and a Tb dystrophic Red-Yellow Ultisol. The urea contents in the leaves decreased in response to increasing doses of Ni and time after application of urea, indicating increased activity of the urease enzyme. Increasing doses of Ni applied in bean leaves induced a reduction from the leaf organic N and Mn, but did not affect the levels of other nutrients, except Ni, which has increased, didn't alter plant growth, although caused, initially, toxicity symptoms on leaves. The contents of P, K, Mg, Cl, B, Fe, Ni and Zn were higher in the Ultisol; N, Ca, S and Mn didn't differ from Quartz.

**Key words:** *Phaseolus vulgaris* L. Nickel chloride. Urease.

## 1. INTRODUÇÃO

A uréia é caracterizada por ser um dos fertilizantes sólidos granulados com maior concentração de nitrogênio (45%). É considerada como um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados, devido ao seu baixo custo relativo, alta solubilidade em água e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. É indicada para adubação foliar por causar menos injúrias nas folhas em relação às outras fontes de N, se comparadas soluções com concentrações equivalentes (Witte et al., 2002).

Para que a uréia presente na planta seja assimilada é necessário que seja degradada. A hidrólise da uréia é realizada pela enzima urease uma metaloenzima níquel-dependente, que catalisa a hidrólise da uréia em amônia e CO<sub>2</sub>, é produzida por fungos, bactérias e plantas, mas não por animais (Fatibello-Filho e Vieira, 2002; Longo e Melo, 2005). O amônio então derivado da uréia é assimilado nos aminoácidos glutamina e glutamato, os quais servem para translocar nitrogênio orgânico de fontes para drenos (Lam et al., 1996).

A urease (uréia amidohidrolase) foi a primeira enzima a ser cristalizada, sendo descoberta por Sumner em 1926. A caracterização feita por Dixon et al. em 1975 que o Ni é um componente da enzima urease, presente em muitas espécies de plantas, provocou interesse científico pela pesquisa referente ao papel do Ni em plantas superiores. Desde então, tem-se obtido respostas de plantas a fertilização com Ni sob condições de campo (Wood et al., 2004), em soluções nutritivas (Gerendás e Sattelmacher, 1998; Tan et al., 2000; Neves et al., 2007) ou em meios de cultura de tecido fornecidas com uréia como fonte de nitrogênio exclusivamente (Polacco, 1977).

Em plantas, a urease está presente de forma abundante na semente e em menor proporção nos demais órgãos da planta. O papel fisiológico das ureases ainda não foi totalmente elucidado. Tem sido proposto que as ureases vegetais desempenham um papel na germinação das sementes, na defesa contra fitopatógenos e na assimilação do nitrogênio pelas plantas (Sirko e Brodzic, 2000).

Plantas de soja (*Glycine max* L.) não supridas de Ni e dependentes de fixação de N<sub>2</sub> ou supridas com N-NO<sub>3</sub> e N-NH<sub>4</sub> acumularam concentrações extremamente altas de uréia nas extremidades de seus folíolos, que se tornaram



necróticos devido à baixa atividade da urease no interior das folhas. Quando o Ni foi intencionalmente fornecido a  $1 \mu\text{g L}^{-1}$ , a uréia não se acumulou nas folhas e não houve necrose (Eskel et al., 1983; Eskew et al., 1984), pois o níquel ativou a enzima urease que degradou a uréia presente no tecido.

Estrategicamente, plantas de bromélias também desenvolveram uma forma de usufruir da uréia, sendo esta proveniente da urina de anfíbios e de excrementos de aranhas nessas plantas. Na presença de uréia, a bromélia (*Vriesea gigantea* Gaudich) libera urease para o “tanque” (imbricamento de suas folhas) e em seguida absorve o amônio produzido pela reação, que é então processado por enzimas internas. A enzima que possuir maior afeição pelo amônio irá metabolizá-lo. A glutamina sintetase dessa bromélia tem alta afinidade pelo amônio, mas a bromélia também absorve a molécula da uréia inteira de maneira muito mais eficiente do que se observa com outras substâncias nitrogenadas e, desta forma, a utiliza no seu metabolismo (Inselsbacher et al., 2007). Em pepino, a adição de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  de Ni à solução nutritiva aumentou a produção e qualidade dos frutos e a atividade da redutase do nitrato em plantas que receberam uréia como fonte de nitrogênio. Os aumentos de crescimento e produção foram atribuídos aos incrementos na fotossíntese, concentração de N e na atividade da redutase do nitrato (Tabatabaei, 2009).

Considerando a participação do níquel na assimilação do nitrogênio pelas plantas, o objetivo neste trabalho foi verificar o efeito de doses de níquel no crescimento, composição mineral e na hidrólise da uréia aplicada via foliar no feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivado em dois solos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada em Campos dos Goytacazes - RJ (Latitude=  $21^{\circ}19'23''$ ; Longitude=  $41^{\circ}10'40''$ ; Altitude= 14m), no período de 20/09/2008 a 30/10/2008.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em arranjo fatorial  $5 \times 2$ , sendo cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de

Ni, aplicados via foliar na forma de cloreto de níquel hexahidratado) e dois solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 5 kg de solo na base seca com cinco plantas. Para as análises de uréia e de N foi considerado o esquema fatorial 5 x 2 x 5, em que considerou-se também cinco tempos de coleta (1,5; 4; 10; 24 e 48 horas) após a aplicação foliar de uréia.

Os solos utilizados foram coletados em profundidade de 0-20 cm, destorroados e passados em peneira com malha de 6 mm de diâmetro (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Características químicas de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico e de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

	<b>pH</b> H <sub>2</sub> O 1:2,5	<b>CE</b> µS	<b>P</b> ----- mg kg <sup>-1</sup> -----	<b>K</b> ----- mg kg <sup>-1</sup> -----	<b>Ca</b> ----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	<b>Mg</b> ----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	<b>Al</b> ----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	<b>H+Al</b> ----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----
Neossolo	5,03	79	136	67	39,4	3,9	1,5	36,7
Argissolo	5,62	120	19	180	98,6	13,4	0,5	35,1
	<b>Na</b>	<b>B</b>	<b>Mo</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
Neossolo	0,04	0,1	0,027	13,9	1,2	0,73	47,1	0,12
Argissolo	0,41	0,51	0,021	38,1	3,8	0,59	86,9	0,23
	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>MO</b>	<b>T</b>	<b>t</b>	<b>V</b>	<b>SB</b>	<b>m</b>
	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	%	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%
Neossolo	3,77	8,6	14,9	82	47	55	45	3,22
Argissolo	4,60	13,5	23,6	152	118	77	117	0,42

**Tabela 2.** Características físicas de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico e de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

<b>Solos</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
Neossolo	937	20	43
Argissolo	552	68	380

Foi utilizado como material propagativo, sementes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola proveniente de Viçosa-MG. A semeadura foi realizada no dia 20/09/2008. Foram semeadas doze sementes por vaso, que continham em média 2,28 mg kg<sup>-1</sup> de Ni. Dez dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste, mantendo-se cinco plantas mais vigorosas em cada vaso.

Vinte e cinco DAS no estágio de desenvolvimento V<sub>4</sub> (fase vegetativa em que a terceira folha trifoliada estava totalmente expandida e a planta iniciava a

ramificação) as doses de níquel foram aplicadas via foliar, por meio de um borrifador manual, visando molhar as folhas completamente, mas evitando o escorrimento. Foi adicionado a cada solução de níquel o espalhante adesivo Adesil<sup>®</sup> na proporção de 0,2 mL por litro.

Foi realizada uma aplicação foliar (33 DAS) com uréia p.a. (solução contendo 10 g L<sup>-1</sup> de uréia) utilizando o mesmo procedimento adotado com o Ni. Aos 40 DAS, no início da manhã, efetuou-se nova aplicação foliar de uréia e em seguida iniciou-se a coleta da parte aérea de uma planta de cada tratamento 1,5; 4; 10; 24 e 48 horas após essa última aplicação de uréia.

Separaram-se ramos e folhas de cada planta. Em seguida, esse material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 72°C, durante 48 horas, para determinação da massa seca de ramos e de folhas, depois foi moído em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh e acondicionado em recipientes plásticos herméticos para posterior determinação dos teores de uréia e N no tecido foliar em todos os tempos de coleta e P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, Cl e Ni no tecido foliar no tempo 48 h.

Os teores de uréia foram determinados no tecido foliar seco e moído pelo método enzimático colorimétrico descrito a seguir:

#### **Preparo das soluções:**

**Solução A** - Adicionar 10 g de salicilato de sódio e 0,025g de nitropussiato de sódio em becker, diluir e transferir para balão volumétrico com capacidade de 100 mL. Completar o volume com água desionizada, agitar e armazenar em frasco âmbar. Essa solução pode ser mantida sob refrigeração entre 2 e 8°C com validade de 12 meses.

**Solução B** - Adicionar 5 mL de hipoclorito de sódio a 5% e 2g de hidróxido de sódio em balão volumétrico com capacidade de 100 mL. Completar o volume com água desionizada e agitar para homogeneizar.

**Solução C** - Adicionar 0,0122g da enzima urease liofilizada (EC 3.5.1.5) 50 unidades mL<sup>-1</sup> em tubo de ensaio de 15x100mm. Diluir e completar o volume para 10 mL em balão volumétrico.

**Solução padrão estoque** - No preparo da solução padrão estoque de uréia (2500 µmol L<sup>-1</sup>) adicionar 150,15 mg de uréia p.a. em becker com capacidade de 250mL, diluir com água desionizada, transferir para balão

volumétrico com capacidade de 1000 mL. A partir dessa solução, preparar os padrões da curva 250; 500; 1000; 1500 e 2000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (Tabela 3).

**Tabela 3** - Volumes da solução padrão estoque empregados para a preparação da curva padrão para determinação da uréia em tecido vegetal

Uréia		Solução Estoque*	H <sub>2</sub> O	Volume Final
$\mu\text{mol L}^{-1}$	$\text{mg L}^{-1}$	mL	mL	mL
0	0	0	10	10
250	15,015	1,0	9,0	10
500	30,030	2,0	8,0	10
1000	45,045	4,0	6,0	10
1500	60,060	6,0	4,0	10
2000	120,12	8,0	2,0	10

\*Solução Estoque de uréia 2500  $\mu\text{mol L}^{-1}$

#### **Etapas:**

1. Transferir 100 mg de massa seca de planta moída para tubo de ensaio de 15x100mm previamente identificados.
2. Adicionar 10 mL de água desionizada em cada amostra, inclusive o branco.
3. Manter em banho maria a temperatura de 45°C durante 60 minutos.
4. Retirar as amostras do banho maria, agitar manualmente e filtrar, inclusive o branco.
5. Transferir para tubo de ensaio de 15x100mm 100 $\mu\text{L}$  dos padrões da curva e adicionar 1800 $\mu\text{L}$  de água desionizada.
6. Transferir para tubo de ensaio de 15x100mm 100  $\mu\text{L}$  do extrato vegetal e do branco e adicionar 1800  $\mu\text{L}$  de água desionizada.
7. Adicionar em cada amostra 100  $\mu\text{L}$  da solução C e manter em banho maria a 40°C durante 40 minutos. O volume de cada amostra nessa etapa é 2 mL.
8. Retirar as amostras do banho maria e adicionar em cada uma delas 500  $\mu\text{L}$  da solução A e 500  $\mu\text{L}$  da solução B e retornar ao banho maria por mais 15 minutos.
9. Retirar as amostras do banho maria e adicionar em cada uma delas 2 mL de água desionizada e agitar para homogeneizar. O volume final de cada amostra é 5 mL.
10. Proceder a leitura da absorbância em espectrofotômetro colorimétrico, utilizando o comprimento de onda de 654 nm.

Para determinar as concentrações de uréia na massa seca das plantas, relacionou-se graficamente os valores dos padrões (0 a 2000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de uréia) com as absorvâncias lidas e foi escolhida a curva com melhor ajuste. As concentrações na massa seca são 100 mg da planta seca e moída em 10 mL de água desionizada. Os valores multiplicados pelo fator de diluição que é 100 serão expressos em  $\mu\text{mol kg}^{-1}$ . Ao dividir os valores obtidos em  $\mu\text{mol kg}^{-1}$  por 1000 serão expressos em  $\text{mol kg}^{-1}$  e ao multiplicar os valores em  $\text{mol kg}^{-1}$  por 60,06 (massa molecular da uréia) os resultados serão expressos em  $\text{g kg}^{-1}$ .

A cor verde brilhante se mantém estável durante 30 minutos após a adição da última solução (Metodologia adaptada de Walker et al., 1985; Gerendás e Sattelmacher, 1997; Witte et al., 2002).

Os teores de N, P e K foram determinados a partir do extrato da digestão sulfúrica. O N-orgânico, pelo método colorimétrico com reagente de Nessler (Jackson, 1965). O P por colorimetria, utilizando-se molibdato de amônio. O K por emissão em espectrofotômetro. Os demais nutrientes, exceto B e Cl, foram determinados pelo extrato da digestão nítrico-perclórica. O Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. O S foi quantificado por turbidimetria, utilizando  $\text{BaCl}_2$  e goma arábica. O cloreto foi determinado por titulometria com  $\text{AgNO}_3$ , após submeter o material a extração aquosa em banho-maria a 40°C por uma hora e agitação. O boro foi determinado pelo método colorimétrico utilizando Azometina-H, após incineração em mufla a 550°C por 4 horas (Malavolta, 1997).

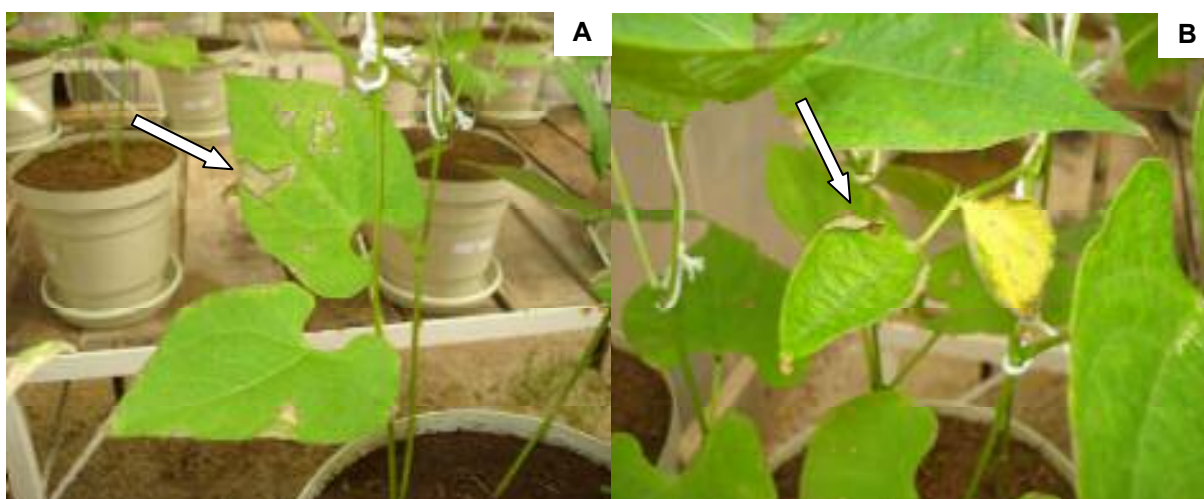
O Ni foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite após digestão via seca. Foram pesados 500 mg de material vegetal seco e moído, colocados em frascos de 10 mL. Esses frascos foram levados à mufla a 550°C durante 4 horas. Após resfriamento, as amostras foram retiradas da mufla, sendo adicionados a cada frasco 2 mL de  $\text{HNO}_3$  a 2% e colocados em banho de areia a 180°C até o material secar completamente, em seguida foram adicionados 10 mL de  $\text{HNO}_3$  a 0,5%, sendo as amostras agitadas e transferidas para tubos de ensaio de 15 mL e centrifugados a 2800 rpm durante 6 minutos. Os extratos foram utilizados para leitura.

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância. As comparações entre as médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e para os efeitos de doses e horas foi efetuada análise de

regressão, sendo os modelos matemáticos escolhidos segundo as equações com melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), pela significância dos coeficientes de regressão ( $\beta_i$ ) e do teste F da regressão, ambos até 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a pulverização foliar com solução contendo Ni observou-se sintomas de toxidez em feijoeiro. Os primeiros sintomas foram observados 36 horas após a aplicação de Ni. Os efeitos foram visualizados nos tecidos jovens e maduros de todas as plantas que receberam Ni via foliar, com predominância e maior intensidade nos tecidos maduros. Manchas acinzentadas surgiram nos bordos das folhas maduras que posteriormente apresentaram necrose e queima com comprometimento da área fotossintética. Houve encarquilhamento e queda prematura dos folíolos (Figura 1 A e B).



**Figura 1.** Sintomas de toxidez de níquel em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola. (A) Necrose em folhas primárias e (B) Encarquilhamento e queda prematura dos folíolos.

Houve maior dano no tecido foliar de plantas que receberam as maiores concentrações 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni, mas todas as plantas que receberam Ni apresentaram sintomas de toxidez com queima do tecido foliar principalmente das

folhas maduras. Apesar de as plantas que receberam pulverização com Ni terem apresentado sintomas de toxidez, não ocorreu morte de nenhuma planta e estas se recuperaram pelo fato de terem se desenvolvido atingindo os estádios fenológicos seguintes.

A aplicação de Ni não afetou de forma significativa a massa seca do ramo, das folhas e da parte aérea das plantas em ambos os solos, apesar da queima após a aplicação foliar de Ni (Tabela 4). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Rabie et al. (1992), que aplicaram 0; 15; 30; 45 e 60 mg L<sup>-1</sup> de Ni na forma de sulfato de níquel, via foliar, em feijão fava, trigo e sorgo aos 25 dias do plantio e não observaram alteração na massa seca do tecido foliar dessas plantas com o aumento das doses de Ni aplicadas.

**Tabela 4.** Massa seca (g) dos ramos (MSR); das folhas (MSF) e da parte aérea (MSPA) de uma planta de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivada em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

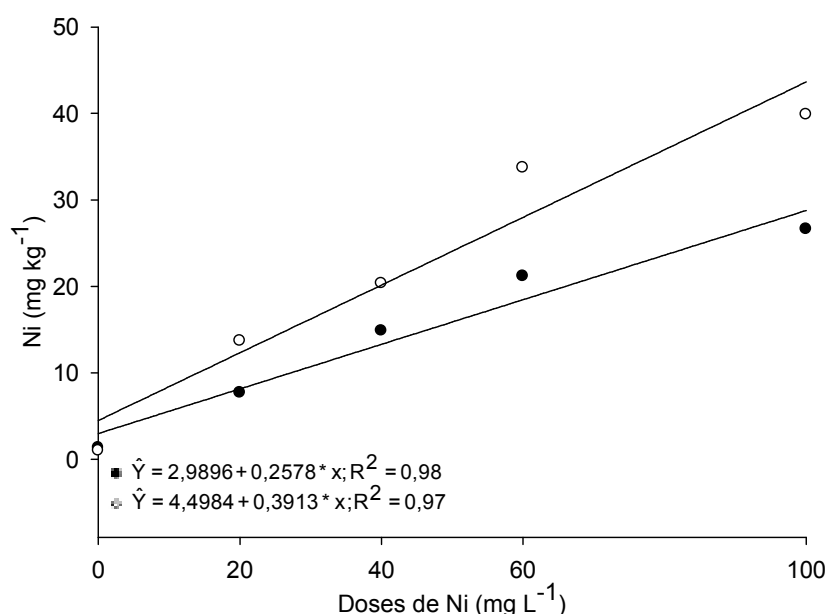
Solos	MSR	MSF	MSPA
Neossolo	1.25 a	1.72 a	2.97 a
Argissolo	1.20 a	1.70 a	2,90 a
CV%	20,4	17,4	17,2

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Com o incremento nas doses de Ni aplicadas ocorreu aumento no teor deste micronutriente no tecido foliar do feijoeiro com maior intensidade em plantas cultivadas em Argissolo do que em Neossolo, pois, no Neossolo o teor variou de 1,33 na dose zero a 26,6 mg kg<sup>-1</sup> na dose 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni, ao passo que no Argissolo o aumento foi de 1,0 para 39,8 mg kg<sup>-1</sup> de Ni, respectivamente (Figura 2).

As plantas que receberam doses de Ni apresentaram sintomas de toxidez e aquelas que continham os maiores teores nos tecidos apresentaram os sintomas mais intensos. Esses resultados corroboram àqueles descritos na literatura de que o Ni pode ser tóxico às plantas em níveis que variam de 1 a 300 mg kg<sup>-1</sup> (Mishra e Kar, 1974). Segundo Paiva (2000), a toxidez de Ni se expressa quando sua concentração na massa seca das plantas é superior a 50 mg kg<sup>-1</sup>. Para Marschner (1995), valores superiores a 10 mg kg<sup>-1</sup> de Ni na massa seca podem ocasionar toxidez para a maioria das culturas. Entretanto, plantas

hiperacumuladoras podem acumular em seus tecidos valores até  $31.200 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni (Liu et al., 2003; Kidd et al., 2007; Galardi et al., 2007).



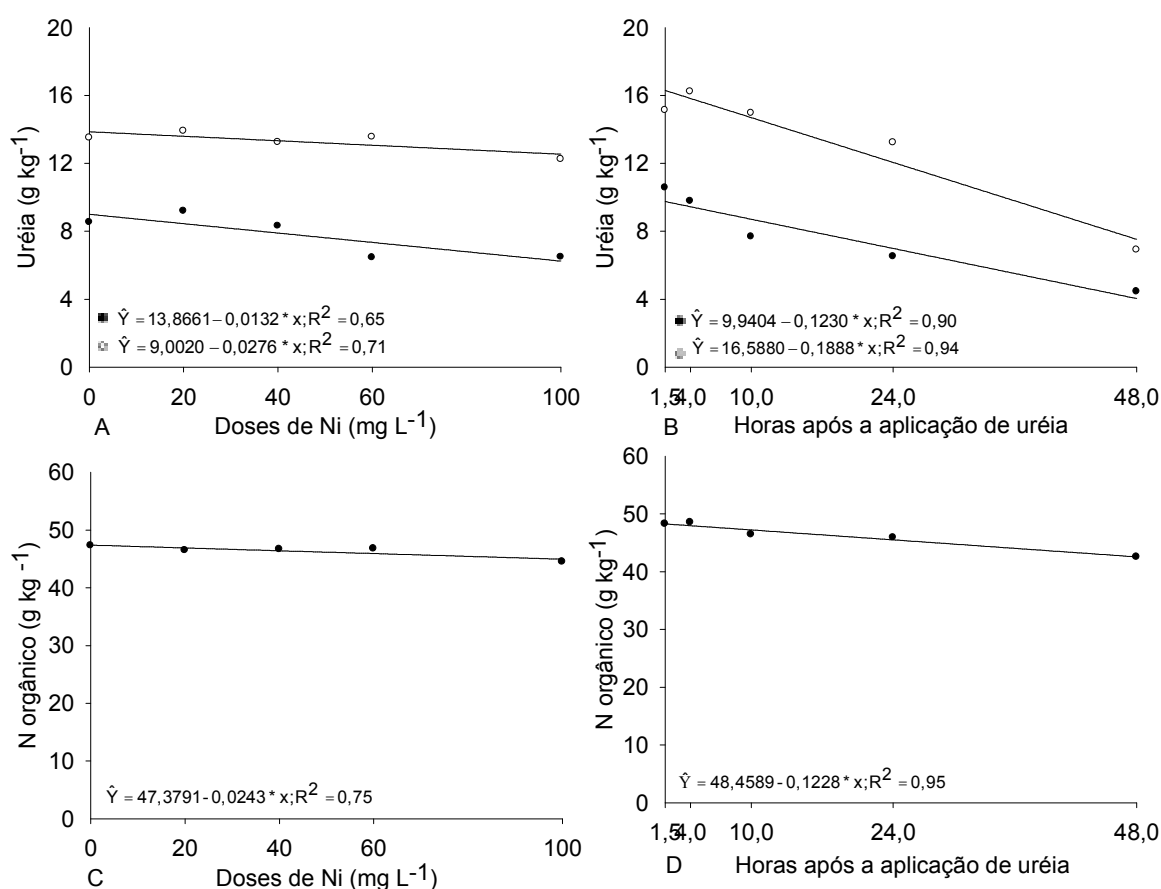
**Figura 2.** Teor de Ni em tecido foliar do feijoeiro comum cv. Pérola coletado 48 horas após a aplicação foliar de uréia, cultivado em (■) Neossolo Quartzarênico Órtico típico e (□) Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel, aplicadas via foliar.

Os teores de uréia nas plantas decresceram em função das doses de Ni aplicadas e também em função dos tempos de coleta das plantas após terem recebido aplicação de uréia via foliar, isso para ambos os solos estudados (Figura 3 A e B). A redução do teor de uréia em função das doses de Ni é devida a hidrólise deste composto promovida pela enzima urease que é dependente do Ni. Esses resultados corroboram os encontrados por Gerendás et al. (1998), que verificaram que plantas de arroz deficientes de Ni cultivadas na presença de uréia apresentaram grande acúmulo de uréia, pelo comprometimento na atividade da enzima urease.

A redução do teor de uréia em função do tempo de coleta também pode ser explicada pelo maior tempo que a enzima urease atuou na hidrólise desse substrato. Na cultura do arroz, Gerendás et al. (1998) verificaram que o crescimento das plantas que receberam  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  não foi afetado pela aplicação do Ni, porém, nas plantas cultivadas com uréia como fonte de nitrogênio e baixas doses de Ni, o crescimento foi reduzido e houve acúmulo de uréia pela baixa



atividade da urease. Essas plantas também apresentaram reduzido teor de aminoácidos, mostrando complicações no metabolismo do nitrogênio.

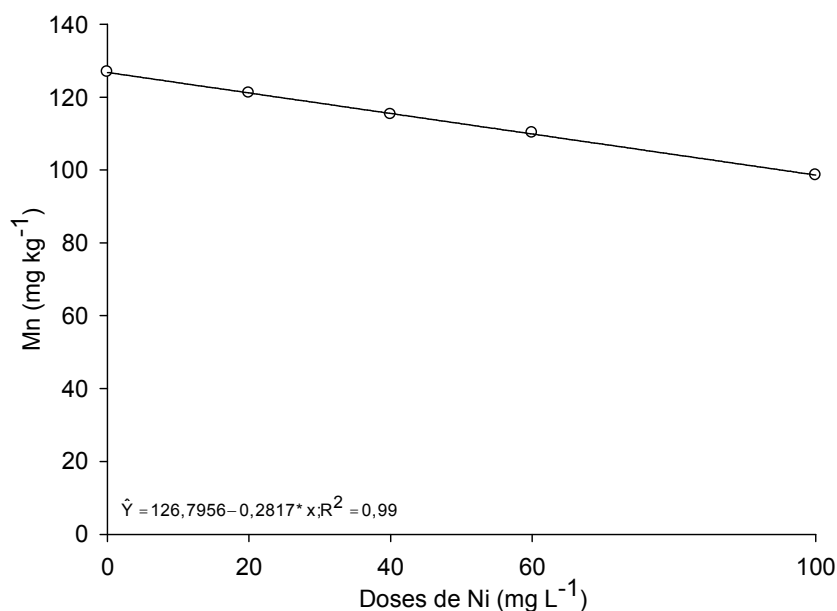


**Figura 3.** Teor de uréia (A) em tecido foliar do feijoeiro comum cv. Pérola, cultivadas em (●) Neossolo Quartzarênico Órtico típico e (○) Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel e (B) em função de tempos de coleta após a aplicação de uréia via foliar. Teor de N orgânico (C) em tecido foliar em função de doses de níquel e (D) de tempos de coleta após a aplicação de uréia via foliar (C e D = média dos dois solos).

Os teores de N das plantas apresentaram pequeno decréscimo em função das doses de Ni aplicadas assim como em função dos tempos de coleta das plantas após terem recebido aplicação de uréia via foliar, isso para ambos os solos estudados (Figura 3 C e D). Palacios et al. (1998) observaram redução no teor de N em folhas de tomateiro que receberam doses de Ni em solução nutritiva. Segundo Boussama et al. (1999), o excesso de Ni na planta pode inibir enzimas relacionadas ao metabolismo do N e causar redução no teor de nitrogênio.

O teor de Mn diminuiu em folhas de plantas cultivadas em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb com o incremento das doses de Ni aplicadas (Figura 4). Paiva et al. (2002) observaram antagonismo entre Mn e o Ni, pois

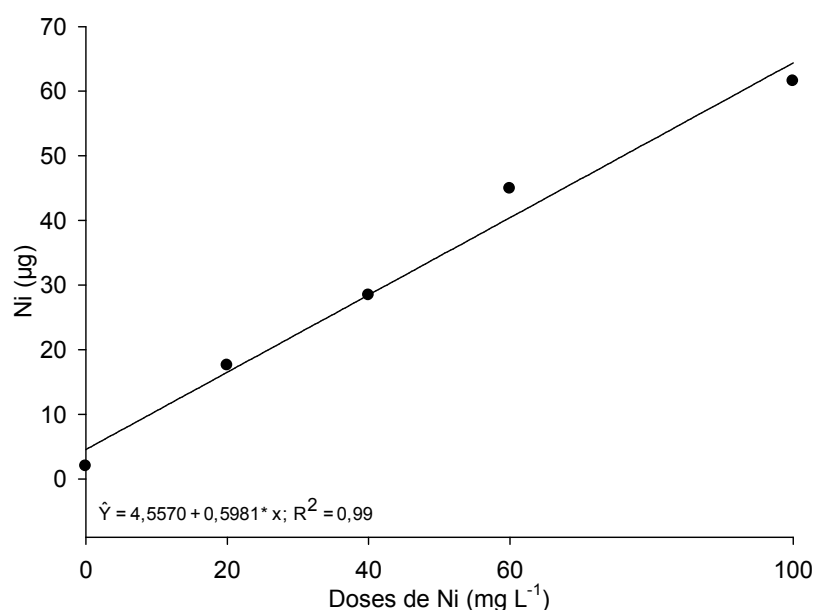
houve redução no teor de Mn em raízes e caules de mudas de cedro que receberam Ni. Palacios et al. (1998) também constataram efeito antagônico entre o Ni e o Mn em plantas de tomate, em que o Mn foi o cátion divalente que sofreu a maior restrição, em termos de absorção, quando na presença de Ni.



**Figura 4.** Teor foliar de Mn em feijoeiro comum cv. Pérola, coletada 48 horas após a aplicação de uréia via foliar, cultivada em (□) Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel.

O Ni possui relação com outros nutrientes gerando efeitos sinérgicos ou antagônicos nas plantas (Piccini, 1990). Wallace et al. (1977) aplicaram Ni na forma de NiSO<sub>4</sub> nas doses 0; 50; 100; 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de Ni no solo e também observaram decréscimo no teor de Mn em folhas e ramos de feijão de vagem. Paiva et al. (2003) sugerem que o conteúdo de macro e de micronutrientes, de modo geral, reduz-se com a aplicação de Ni em dosagens excessivas.

Houve aumento no conteúdo de Ni em função das doses de Ni aplicadas (Figura 5).



**Figura 5.** Conteúdo de Ni em tecido foliar do feijoeiro comum cv. Pérola, coletada 48 horas após a aplicação de uréia via foliar, em função de doses de níquel ( $\text{mg L}^{-1}$ ) (média dos dois solos: Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb).

As doses de Ni aplicadas não causaram alteração nos teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe e Zn no tecido foliar do feijoeiro. Por sinal, o Zn é constituinte da superóxido dismutase (SOD) em plantas e possui papel, nesse caso, de proteger as plantas do estresse oxidativo provocado pela presença de metais como o Ni em excesso no tecido foliar das plantas.

Os teores e conteúdos de P, K, Mg, B, Cl, Cu, Fe, Zn, e Ni em folhas foram maiores em plantas cultivadas no Argissolo (Tabelas 5; 6; 7 e 8), pelo fato de esse solo apresentar maiores teores desses nutrientes, exceto P e Cu, cujas disponibilidades são maiores no Neossolo (Tabela 1). Os teores de Ca, S e Mn nas folhas não apresentaram diferença significativa entre os solos estudados, embora o Argissolo possua maiores disponibilidades de Ca e Mn (Tabelas 5 e 6).

Os teores de Ni presentes nas plantas (Tabela 6) não causaram sintomas de deficiência de Fe, comum em plantas que recebem Ni em excesso. O fato de não ter ocorrido competição por sítios de absorção entre Fe e Ni pode ser explicado pelo fato de a aplicação de Ni ter sido via foliar e a planta continuou absorvendo o Fe normalmente do solo. O excesso de Ni nas plantas provoca clorose nas folhas mais novas, por inibir o deslocamento do Fe das raízes para a

parte aérea e também a assimilação do Fe (Agarwala et al., 1977; Yang et al., 1996).

Os teores médios de Ni em folhas de plantas cultivadas em Neossolo foi 13,3 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca e em folhas de plantas cultivadas em Argissolo foi 20,7 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca (Tabela 6). Foram observados sintomas de toxidez de Ni nas folhas das plantas que receberam Ni via foliar. Esse resultado corrobora as considerações feitas por Marschner (1995), que valores superiores a 10 mg kg<sup>-1</sup> de Ni podem ocasionar toxidez para a maioria das culturas. Alguns autores, como Paiva (2000), consideram que o Ni pode ser tóxico quando superiores a 50 mg kg<sup>-1</sup> na massa seca de plantas, com exceção das espécies hiperacumuladoras que podem acumular em seus tecidos valores até 31.200 mg kg<sup>-1</sup> de Ni (Liu et al., 2003; Kidd et al., 2007; Galardi et al., 2007).

O teor de Ni em folhas foi maior em plantas cultivadas em Argissolo (Tabela 6) que apresenta maior disponibilidade desse micronutriente comparado ao Neossolo (Tabela 1).

**Tabela 5.** Teores foliares médios de P, K, Ca, Mg e S (g kg<sup>-1</sup>) em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivada em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	2,92b	20,7b	15,6a	5,98b	1,46a
Argissolo	3,81a	31,2a	15,7a	6,79a	1,48a
CV%	12,4	10,2	9,80	9,29	17,4

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 6.** Teores foliares médios de Cl (g kg<sup>-1</sup>), B, Cu, Fe, Mn, Zn e Ni (mg kg<sup>-1</sup>) em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivada em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Cl	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni
Neossolo	2,06b	38,3b	7,07b	193b	108a	46,2b	13,3b
Argissolo	20,5a	57,5a	10,6a	222a	114a	56,7a	20,7a
CV%	18,6	10,3	18,1	11,9	16,7	17,9	23,8

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 7.** Conteúdos foliares médios de P, K, Ca, Mg e S (mg) em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivada em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	4,90b	35,1b	26,8a	10,4b	2,46a
Argissolo	6,44a	53,9a	27,4a	11,7a	2,46a
CV%	17,5	17,5	19,6	12,9	20,7

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 8.** Conteúdos foliares médios de Cl (mg), B, Cu, Fe, Mn, Zn e Ni ( $\mu\text{g}$ ) em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivada em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Cl	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni
Neossolo	3,54b	64,7b	12,0b	347b	170b	73,3b	25,3b
Argissolo	35,3a	102a	17,5a	395a	201a	97,5a	36,4a
CV %	24,6	11,9	24,1	4,81	13,2	19,8	32,3

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

#### 4. CONCLUSÕES

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.

## REFERÊNCIAS

- Agarwala, S. C.; Bischt, S. S.; Sharma, C. P. (1977) Relative effectiveness of certain heavy metals in producing toxicity and symptoms of deficiency in barley. *Canadian Journal of Botany*, v.55, n.10, p.1299-1307.
- Boussama N., Quariti O, Ghorbal M. H. (1999) Changes in growth and nitrogen assimilation in barley seedlings under cadmium stress. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, n.731-752.
- 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.
- Eskew, D. L.; Welch, R. M.; Cary, E. E. (1983) An essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. *Science*, v.222, p.621-623.
- Eskew, D. L.; Welch, R. M.; Norvell, W. A. (1984) Nickel in Higher Plants: Further evidence for an essential role. *Plant Physiology*. v.76, 691-693.
- Fatibello-Filho, O.; Vieira, I. da C. (2002) Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. *Química Nova*, v. 25, n.3, p.455-464.
- Galardi, F.; Mengoni, A.; Pucci, S.; Barletti, L.; Massi, L.; Barzanti, R.; Gabbrielli, R.; Gonnelli, C. (2007) Intra-specific differences in mineral element composition in the Ni-hyperaccumulator *Alyssum bertolonii*: A survey of populations in nature. *Environmental and Experimental Botany*, v.60, p.50-56.
- Gerendás, J.; Sattelmacher, B. (1997) Significance of Ni supply for growth, urease activity and the concentrations of urea, amino acids and mineral nutrients of urea-grown plants. *Plant and Soil*. N.1z90, p.153-162.

- Gerendás, J.; Zhu, Z.; Sattelmacher, B. (1998) Influence of N and Ni supply on nitrogen metabolism and urease activity in rice (*Oryza sativa* L.) *Journal of Experimental Botany*, v.49, n.326, p.1545-1554.
- Inselsbacher, E.; Cambui, C. A.; Richter, A.; Stange, C. F.; Mercier, H.; Wanek, W. (2007) Microbial activities and foliar uptake of nitrogen in the epiphytic bromeliad *Vriesea gigantea*. *New Phytologist*, v.175, n.2, p.311-320.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Kidd P.S.; Castro C. B.; Lestón M. G.; Monterroso C. (2007) Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, v.16, n.2, p.26-43.
- Lam, H. M.; Coschigano, K. T.; Oliveira, I.C.; Melo-Oliveira, R.; Coruzzi, G. M. (1996) The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.47, p.569-593.
- Liu, Y. M.; Chaney, R. L.; Brewer, E. P.; Angle, J. S.; Nelkin, J. (2003) Phytoextraction of nickel and cobalt by hyperaccumulator *Alyssum* species grown on nickel-contaminated soils. *Environmental Science & Technology*. v.37, n.7, p.1463-1468.
- Longo R. M.; Melo, W. J. de (2005) Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.651-657.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. de. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 319 p.
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego: Academic Press, 889 p.

- Mishra, D.; Kar, M. (1974) Nickel in plant growth and metabolism. *Botanical Review*, v.40, n.4, p.395-452.
- Neves, O. S. C.; Ferreira, E. V. O.; Carvalho, J. G.; Soares, C. R. F. S. (2007) Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.3, p.485-490.
- Paiva, H. N. (2000) *Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de cedro (Cedrela fissilis Vell.) e ipê roxo (Tabebuia impetiginosa (Mart.) Standl.)*. 283f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Paiva, H. N., Carvalho, J. G., Siqueira, J. O. (2002) Teor de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de níquel, em solução nutritiva. *Revista Árvore*, v.26, n.3, p.279-284.
- Paiva H. N. de; Carvalho J. G. de; Siqueira J. O.; Fernandes A. R.; Miranda J. R. P. de. (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.
- Palacios, G.; Gómez, I.; Carbonell-Barrachina, A.; Navarro Pedreño, J.; Mataix, J. (1998) Effect of nickel concentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. *Journal of Plant Nutrition*, v.21, p.2179-2191.
- Piccini, D. F. (1990) *Toxidez do níquel em arroz e feijão*. 144f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Polacco, J. C. (1977) Nitrogen metabolism in soybean tissue culture. II Urea utilization and urea synthesis require  $\text{Ni}^{2+}$ . *Plant Physiology*, v.59, p.827-830.
- Rabie, M. H.; Abdel Latif, E. A.; Asy, K. G.; Eleiwa, M. E. (1992) The effect of nickel on plants. III. The effect of foliar nickel on yield and elemental content of some crops. *Journal King Abdulaziz University Science*, v.4, p.15-21.



- Sirko, A. Brodzik, R. (2000) Plant ureases: Roles and regulation. *Acta Biochimica Polonica*, v.47, n.4, p.1189-1195.
- Tabatabaei, S. J. (2009) Supplements of nickel affect yield, quality, and nitrogen metabolism when urea or nitrate is the sole nitrogen source for cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, v.32, n.5 may, p.713-724.
- Tan, X. W.; Ikeda, H.; Oda, M. (2000) Effects of nickel concentration in the nutrient solution on the nitrogen assimilation and growth of tomato seedlings in hydroponic culture supplied with urea or nitrate as the sole nitrogen source. *Scientia Horticulturae*, v.84, p.265-273.
- 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*, v.79, p.474-479.
- Wallace, A.; Romney, E. M.; Cha, J. W. (1977) Nickel-iron interaction in bush beans. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.8, n.9, p.787-790.
- Witte, C. P.; Tiller, S. A.; Taylor, M. A.; Davies, H. V. (2002) Leaf urea metabolism in potato. Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of <sup>15</sup>N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. *Plant Physiology*, v.128, p.1129-1136.
- Wood, B. W.; Reilly, C. C.; Nyczepir, A. P. (2004) Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. *Hortscience*, v.39, n.1, p.95-100.
- Yang, X.; Baligar, V. C.; Martens, D. C.; Clark, R. B. (1996) Plant tolerance to nickel toxicity: II. Nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. *Journal of Plant Nutrition*, v.19, n.2, p.265-279.

### 3.2. RESPOSTA DO FEIJOEIRO 'PRINCESA' CULTIVADO EM ARGISSOLO E NEOSSOLO À APLICAÇÃO DE NÍQUEL

#### RESUMO

O objetivo neste trabalho foi verificar a resposta do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Argissolo e Neossolo à aplicação de níquel via foliar. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, utilizando-se o esquema fatorial 5 x 2 no delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 5 kg de solo com quatro plantas. Os tratamentos foram constituídos de aplicações de cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) via foliar e dois solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb. As doses de Ni aplicadas promoveram sintomas de toxidez apenas nas folhas primárias do feijoeiro caracterizadas 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.

**Palavras-Chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Cloreto de níquel. Urease.

## RESPONSE TO BEAN PLANT 'PRINCESA' CULTIVATED IN ULTISOL AND QUARTZ TO NICKEL APPLICATION

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Princesa cv., cultivated in Ultisol and Quartz to nickel application. The experiment was carried out in a greenhouse at Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, using a 5 x 2 factorial scheme in a randomized block design with four replications. Each experimental unit consisted of a 5-kg-capacity pot with four plants. Treatments consisted of foliar applications of five nickel concentrations (0, 20, 40, 60 and 100 mg L<sup>-1</sup> Ni) and two soils, a Typic Quartzipsamment and a Tb dystrophic Red-Yellow Ultisol. Ni rates promoted toxicity symptoms just in the primary leaves of the bean plants, characterized by small red brown stains that did not progress along the time not interfering on plants growth. The foliar application of Ni increased levels of this micronutrient in stems, mature leaves, young leaves and pods of 'Princesa' bean, indicating high mobility of this micronutrient in the plant, but did not alter the urea contents, indicating no effect on the activity of urease enzyme. The dry mass of the shoots and the levels of other nutrients were not affected by foliar application of Ni. Plants grown in Ultisol showed higher growth and higher contents of K, B and Cu in mature leaves, young leaves and twigs and Ca and Zn in mature leaves and branches.

**Key words:** *Phaseolus vulgaris* L. Nickel chloride. Urease.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial como maior produtor de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e na safra de 2008/09 produziu 3.497.800 toneladas (Agrianual, 2010). Essa cultura tem grande importância sócio econômica e é uma importante fonte protéica na dieta alimentar dos brasileiros, sendo um dos alimentos mais consumidos no país (Furtini Neto et al., 2000).

Mesmo com o aumento da produtividade do feijoeiro no Brasil nos últimos anos, essa cultura ainda apresenta baixos níveis de produtividade devido a fatores referentes a cultivar utilizada, ao manejo e a estresses bióticos e abióticos (Lago et al., 2009). Entre os estresses abióticos, aqueles relacionados à falta de nutrientes do solo são os mais expressivos para essa cultura (Kikuti et al., 2006; Leal e Prado, 2008).

O feijoeiro comum é considerado exigente em nutrientes, em razão do seu sistema radicular pequeno e pouco profundo e, também, ao seu ciclo curto, sendo o nitrogênio e o potássio os nutrientes mais absorvidos e exportados seguidos, em termos de absorção, do cálcio, magnésio, enxofre e fósforo (Rosolém e Marubayashi, 1994; Vieira, 2006). Embora o feijoeiro tenha relação simbiótica com microrganismos diazotróficos, este processo é insuficiente para suprir a demanda da planta por nitrogênio. Por essa razão, na maioria das vezes, é imprescindível sua aplicação na cultura, para que a produção não seja afetada negativamente (Alves, 2002; Silva, 2002).

O níquel é um micronutriente importante no metabolismo do nitrogênio em leguminosas, porém, o feijoeiro é considerado bastante sensível a doses de Ni em relação a outras culturas. Sua produção é reduzida significativamente quando os teores foliares de níquel estão acima de  $40 \text{ g kg}^{-1}$ , bem como há efeito negativo nos teores de clorofila total, devido à menor absorção de magnésio pelas plantas provocado pelas altas doses de níquel (Piccini, 1990).

Em se tratando de essencialidade e toxidez, existem muitos questionamentos sobre alguns metais pesados, pois muitos desses são considerados essenciais às plantas (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) e se não forem utilizados, podem limitar a produção agrícola (Malavolta et al., 2006). Somente os efeitos tóxicos e a capacidade de algumas espécies tolerarem as altas

concentrações de níquel em seus tecidos eram considerados até o final da década de 80. A sua essencialidade foi comprovada a pouco mais de duas décadas (Brown, 1987), e ainda não consta como micronutriente na Legislação Brasileira. Em contrapartida, o silício, que é um elemento apenas benéfico, consta na Legislação Brasileira como micronutriente (Decreto 4954-04).

As plantas absorvem somente uma pequena proporção de Ni proveniente do solo, mas, este metal deve receber uma atenção especial, pois sua mobilidade na planta é alta quando comparada a de outros metais (Gerendás et al., 1999) e o seu acúmulo na planta faz-se diferentemente, sendo maior nas folhas que nos ramos, nos grãos que nas folhas, e nas partes jovens que nas partes adultas (Yu e Woo, 1999). Em arroz, foi observada a presença de Ni nos grãos e na palha da planta (Kumar e Dubey, 1999) e em tomate, o Ni provocou necrose nas folhas, redução da massa fresca e o acúmulo deste metal nos frutos (Palacios e Mataix, 1999). Berton et al. (2006) observaram que a elevação da concentração de Ni no solo para  $2,3 \text{ mg kg}^{-1}$  foi suficiente para aumentar a concentração desse metal nos grãos de feijoeiro comum cv. Goiano Precoce acima de  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  de massa fresca, tornando-os impróprios para o consumo humano.

A função do níquel em organismos superiores ainda não é totalmente conhecida, embora seja essencial para animais e plantas. 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. São conhecidas como níquel dependente as enzimas: urease, monóxido de carbono desidrogenase, hidrogenase de níquel e metil coenzima M redutase (Nakagaki et al., 2006). Dessa forma, o objetivo neste trabalho foi verificar a resposta do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Argissolo e Neossolo à aplicação de níquel via foliar.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada em Campos dos

Goytacazes - RJ (Latitude= 21°19'23"; Longitude= 41°10'40"; Altitude= 14m), no período de 03/04/2009 a 16/05/2009.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em arranjo fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni, aplicados via foliar na forma de cloreto de níquel hexahidratado) e dois solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 5 kg de solo na base seca com quatro plantas.

Os solos utilizados foram coletados em profundidade de 0-20 cm, destorroados e passados em peneira com malha de 6 mm de diâmetro (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Características químicas de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico e de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

	<b>pH</b> H <sub>2</sub> O 1:2,5	<b>CE</b> µS	<b>P</b> ----- mg kg <sup>-1</sup> -----	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>
					-----mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
Neossolo	5,03	79	136	67	39,4	3,9	1,5	36,7
Argissolo	5,62	120	19	180	98,6	13,4	0,5	35,1
	<b>Na</b>	<b>B</b>	<b>Mo</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
Neossolo	0,04	0,1	0,027	13,9	1,2	0,73	47,1	0,12
Argissolo	0,41	0,51	0,021	38,1	3,8	0,59	86,9	0,23
	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>MO</b>	<b>T</b>	<b>t</b>	<b>V</b>	<b>SB</b>	<b>m</b>
	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----		%	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%
Neossolo	3,77	8,6	14,9	82	47	55	45	3,22
Argissolo	4,60	13,5	23,6	152	118	77	117	0,42

**Tabela 2.** Características físicas de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico e de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

<b>Solos</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
Neossolo	937	20	43
Argissolo	552	68	380

Foi utilizado como material propagativo, sementes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, provenientes do IPA em Recife-PE. A semeadura foi realizada no dia 03/04/2009. Foram semeadas doze sementes por vaso, que continham em média 1,26 mg kg<sup>-1</sup> de Ni. Dez dias após a semeadura

(DAS) foi feito o desbaste, mantendo-se cinco plantas mais vigorosas em cada vaso.

Vinte e três DAS no estágio de desenvolvimento  $V_4$  (fase vegetativa em que a terceira folha trifoliada estava totalmente expandida e a planta iniciava a ramificação) foi feito o fornecimento de Ni às plantas, realizado por meio de um pulverizador manual calibrado para dispensar cerca de  $170 \text{ L ha}^{-1}$ , de modo a simular uma aplicação mecanizada no campo. Foi adicionado a cada solução de níquel o espalhante adesivo Adesil<sup>®</sup> na proporção de 0,2 mL por litro.

Foram realizadas duas aplicações foliares (38 e 42 DAS) com uréia p.a. (solução contendo  $10 \text{ g L}^{-1}$  de uréia) utilizando o mesmo procedimento adotado com o Ni.

Aos 43 DAS, vinte e quatro horas após a última aplicação foliar com solução contendo uréia, foram coletadas as quatro plantas de cada vaso no estágio de desenvolvimento  $R_6$  (frutificação). Separaram-se as raízes, ramos, folhas maduras (basais), folhas jovens (apicais), vagens e nódulos para constituírem as amostras. Em seguida, esse material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a  $72^\circ\text{C}$ , durante 48 horas, para determinação da massa seca das raízes, ramos, folhas e vagens. As raízes foram retiradas de cada vaso e lavadas com água corrente sobre peneira e bandeja. Os nódulos foram retirados das raízes e foram colocados em placas de Petri para secar em estufa conforme as outras amostras supracitadas para determinação da massa seca dos nódulos e também do número de nódulos.

As amostras contendo ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens foram moídas em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh e acondicionadas em recipientes plásticos herméticos. Foram determinados os teores de uréia, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, Mo e Ni nos ramos, folhas maduras e folhas jovens e os teores de Mo e Ni nas amostras de vagens.

Os teores de uréia foram determinados em material vegetal seco pelo método enzimático colorimétrico. Os teores de N, P e K foram determinados a partir do extrato da digestão sulfúrica. O N-orgânico, pelo método colorimétrico com reagente de Nessler, segundo Jackson (1965). O P por colorimetria, utilizando-se molibdato de amônio. O K por emissão em espectrofotômetro. Os demais nutrientes, exceto o B, foram determinados pelo extrato da digestão nítrico-perclórica. O Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe foram quantificados por

espectrofotometria de absorção atômica. O S foi quantificado por turbidimetria, utilizando  $\text{BaCl}_2$  e goma arábica. O cloreto foi determinado por titulometria com  $\text{AgNO}_3$ , após submeter o material a extração aquosa em banho-maria a  $40^\circ\text{C}$  por uma hora e agitação. O boro foi determinado pelo método colorimétrico utilizando Azometina-H, após incineração em mufla a  $550^\circ\text{C}$  por 4 horas (Malavolta, 1997).

O Mo e o Ni foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite após digestão via seca. Foram pesados 500 mg de material vegetal seco e moído, colocados em frascos de 10 mL que foram levados à mufla e mantidos sob temperatura de  $550^\circ\text{C}$  durante 4 horas. Após resfriamento, as amostras foram retiradas da mufla, sendo adicionados a cada frasco 2 mL de  $\text{HNO}_3$  a 2% e colocados em banho de areia a  $180^\circ\text{C}$  até o material secar completamente, em seguida foram adicionados 10 mL de  $\text{HNO}_3$  a 0,5%, sendo as amostras agitadas e transferidas para tubos de ensaio de 15 mL e centrifugados a 2800 rpm durante 6 minutos. Os extratos foram utilizados para leitura.

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância e as diferenças verificadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para as comparações entre médias. Os efeitos de doses foram verificados pela análise de regressão, sendo os modelos matemáticos escolhidos segundo as equações com melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), pela significância dos coeficientes de regressão ( $\beta_i$ ) e do teste F da regressão, ambos até 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 posterior das plantas (Figura 1).

Os teores de Ni em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens aumentaram linearmente em função das doses de Ni aplicadas em ambos os solos estudados, com maior intensidade nas folhas maduras no Argissolo (Figura

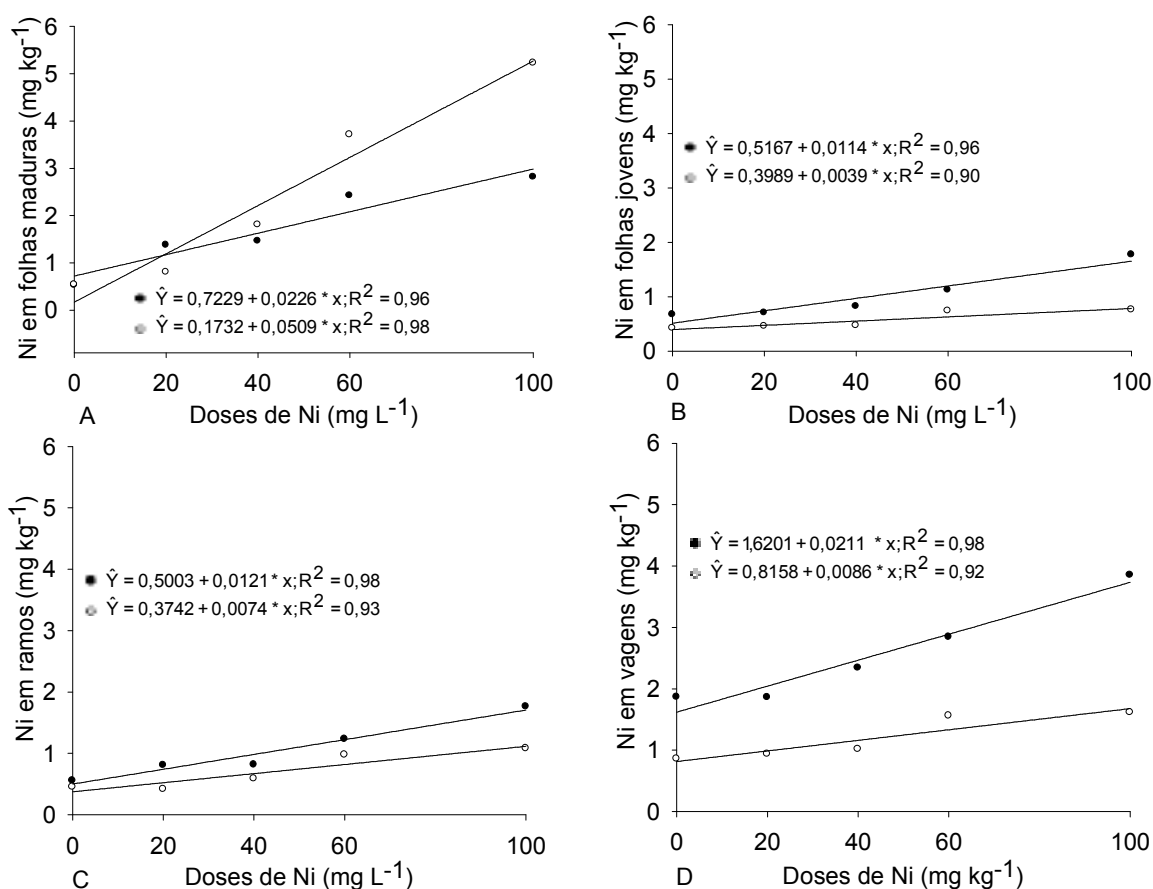


2 A), ao passo que nas folhas jovens, ramos e vagens, a intensidade de aumento foi maior no Neossolo (Figura 2B, C e D). Tendo em vista que as folhas novas e vagens formaram-se após a aplicação foliar de Ni, o teor de Ni nessas partes da planta decorreu da translocação desse micronutriente das folhas mais velhas, principalmente. Verifica-se, portanto, que a translocação de Ni para as folhas jovens, ramos e vagens foi mais intensa nas plantas crescidas no Neossolo.

Isso indica que as plantas absorveram o Ni aplicado via foliar e que esse micronutriente apresenta elevada mobilidade no feijoeiro. Os locais de acúmulo variam conforme as espécies e também conforme a sensibilidade ou tolerância das plantas ao níquel. O Ni pode ser encontrado no apoplasto, vacúolo ou no próprio citoplasma das células das plantas (Kramer et al., 2000).



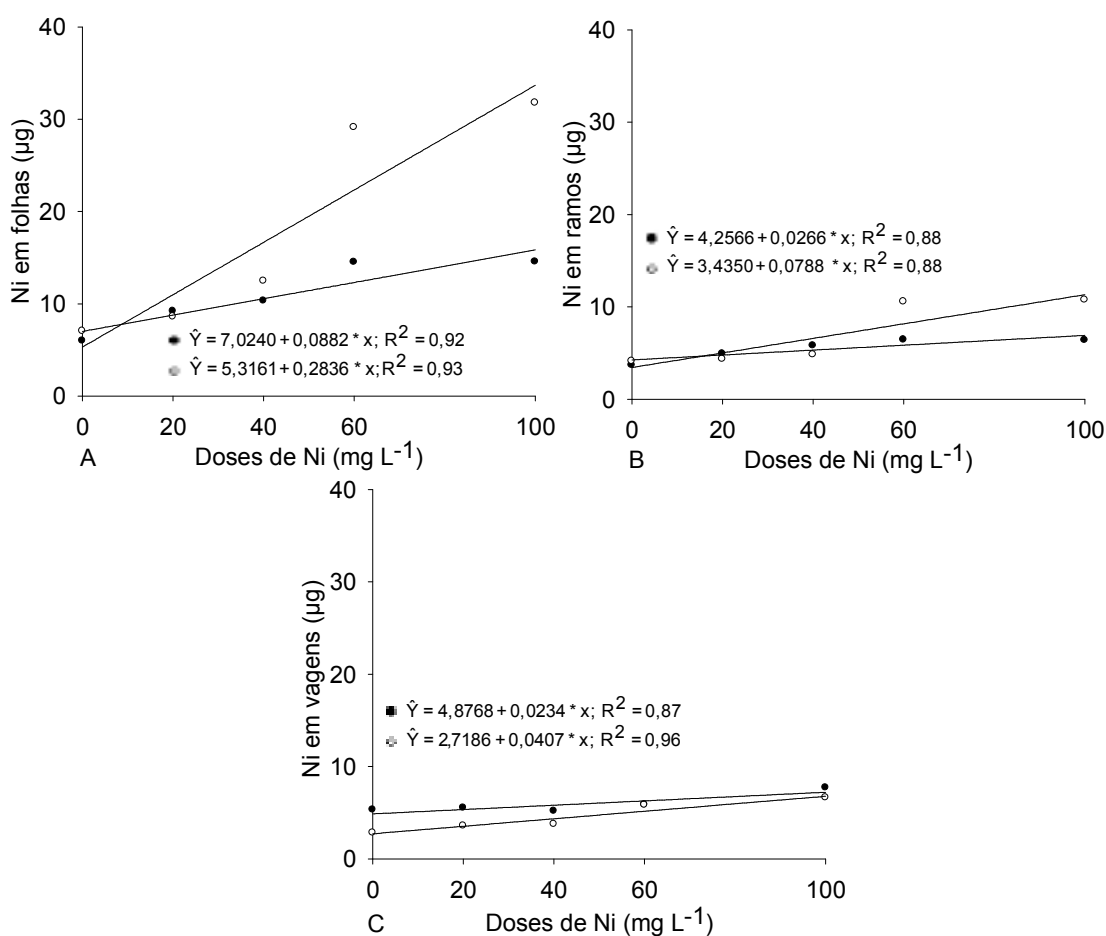
**Figura 1.** Sintomas de toxidez de níquel em feijoeiro. (A) Pequenas manchas bruno avermelhadas. (B) Manchas acinzentadas com halos cloróticos e necrose.



**Figura 2.** Teor de Ni em folhas maduras (A), folhas jovens (B), ramos (C) e vagens (D) em feijoeiro comum cv. Princesa, submetido a doses de níquel, cultivado em (●) Neossolo Quartzarênico Órtico típico e (○) Argissolo Vermelho Amarelo.

O conteúdo de Ni em ramos e folhas aumentou linearmente em função das doses de Ni para ambos os solos estudados, com maior intensidade no Argissolo (Figura 3 A e B), em decorrência do maior crescimento dessas partes da planta (Tabela 3). O conteúdo de Ni nas vagens também aumentou linearmente em função das doses de Ni nos dois solos (Figura 3 C). O conteúdo de Ni nas vagens de plantas cultivadas no Neossolo foi maior do que no Argissolo, pois, embora a matéria seca de vagens tenha sido maior no Argissolo (Tabela 3), o teor de Ni nessas partes foi muito maior no Neossolo (Figura 2D). Verifica-se, portanto, que a translocação de Ni para as vagens foi maior no Neossolo.

O acúmulo de Ni em sementes requer regulação da mobilização e da retranslocação de Ni das folhas mais velhas durante o estágio de florescimento e enchimento de grãos (Kirkby e Romheld, 2007).



**Figura 3.** Conteúdo de Ni em folhas (A), ramos (B) e vagens (C) do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, submetido a doses de níquel, cultivado em (●) Neossolo Quartzarênico Órtico típico e (○) Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb.

Os valores médios da massa seca das folhas, ramos, vagens, parte aérea, e raízes de plantas cultivadas em Argissolo foram maiores que os das plantas cultivadas no Neossolo (Tabela 3), pela melhor condição ao crescimento dessas plantas proporcionada pelo Argissolo que, no geral, possui melhor nível de fertilidade (Tabela 1).

Em se tratando da massa seca de nódulos e números de nódulos, esses foram superiores em plantas cultivadas em Neossolo (Tabela 3). Apesar de não ter sido feito isolado das estirpes de bactérias diazotróficas presentes nos solos estudados, a maior nodulação pode ter ocorrido devido ao fato de a estirpe de rizóbio presente no Neossolo ser mais agressiva comparada àquela presente no Argissolo, bem como também o Neossolo (Tabela 2) apresentar características físicas mais favoráveis a infecção das raízes do feijoeiro, por esse solo ser classificado como areia.

**Tabela 3.** Massa seca (g) e número de nódulos de quatro plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009.

Solos	Folhas	Ramos	Vagens	Parte aérea	Raízes	Nódulos	N. de Nódulos
Neossolo	8,69b	5,48b	2,54b	16,7b	4,23b	0,36a	148a
Argissolo	14,3a	9,83a	3,66a	27,8a	5,00a	0,19b	94b
CV%	21,4	20,6	36,1	20,7	21,9	52,6	59,6

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de uréia nas folhas maduras, folhas jovens e ramos não foram alterados pelas doses de Ni nos dois solos estudados, os quais não diferiram entre si (Tabela 4), indicando que a quantidade da enzima urease pré-existente foi suficiente para manter baixo o teor de uréia existente na planta. Para promover a síntese e ativação da enzima urease é necessária a presença de uréia e de níquel (Gerendás et al., 1998). As quantidades de uréia aplicadas via foliar 24 horas antes da coleta das plantas foram muito pequenas ( $1,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e a originária da fixação simbiótica é também baixa. Essas condições podem justificar a ausência de efeito das doses de Ni na hidrólise da uréia.

Nas leguminosas de origem tropical, tais como a soja (*Glycine max* L.), feijão comum (*P. vulgaris* L.), amendoim (*Arachis hypogea* L.) e o feijão caupi [*V. unguiculata* (L.) Walp], o nitrogênio fixado é transportado para a parte aérea da planta sob a forma de ureídeos. Os três principais ureídeos são: ácido alantóico, alantoína e citrulina. Esses compostos são liberados no xilema e transportados para a parte aérea, onde são metabolizados, liberando uréia (Marenco e Coelho Netto, 1994). A uréia assim liberada é hidrolisada em  $\text{NH}_3$  e  $\text{CO}_2$  sob a ação da enzima urease (Mérigout et al., 2008).

A aplicação de níquel não afetou os teores de macronutrientes e dos demais micronutrientes em folhas e ramos das plantas em ambos os solos (Tabelas 4, 5 e 6).

Em folhas maduras de plantas cultivadas em Neossolo o teor de N foi superior ao de folhas de plantas cultivadas em Argissolo (Tabela 4); possivelmente, a fixação biológica de nitrogênio tenha sido maior no Neossolo que apresentou maior número de nódulos (Tabela 3).

Os teores de K, B e Cu em folhas maduras, jovens e ramos das plantas cultivadas em Argissolo foram maiores do que os de plantas cultivadas em Neossolo; os teores de Ca e Zn foram também maiores nesse solo apenas nas folhas maduras e ramos (Tabelas 4 e 5). Com exceção do cobre, cuja disponibilidade é maior no Neossolo, os demais têm maior disponibilidade no Argissolo (Tabela 1).

Os teores de Mg em ramos foi maior no Neossolo (Tabela 4), embora este solo contenha muito menos desse macronutriente (Tabela 1). Nas folhas, não houve diferença entre os solos.

**Tabela 4.** Teores de uréia e macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em folhas maduras, folhas jovens e ramos de quatro plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas maduras						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	6,04a	31,9a	1,43a	18,4b	14,4b	5,06a	1,16a
Argissolo	5,48a	29,3b	1,38a	29,0a	18,7a	5,48a	1,08b
CV%	44,2	12,5	22,2	13,1	19,3	14,7	11,1
Solos	Folhas jovens						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	3,14a	31,7a	2,40a	16,5b	11,4a	4,58a	1,22a
Argissolo	2,98a	34,1a	2,54a	26,0a	12,3a	4,27a	1,26a
CV%	35,6	12,9	20,2	14,4	19,1	15,5	15,1
Solos	Ramos						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	1,22a	11,0a	1,29a	8,05b	5,75b	2,81a	0,53a
Argissolo	1,22a	10,5a	1,38a	13,2a	6,49a	2,37b	0,51a
CV%	37,2	22,8	15,3	12,3	14,2	14,9	34,2

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de S foram maiores em folhas maduras de plantas cultivadas em Neossolo e os teores observados em folhas jovens e ramos não apresentaram diferença significativa entre os solos estudados (Tabela 4).

O teor de Mn foi maior em folhas jovens e ramos de plantas cultivadas em Neossolo (Tabela 5), embora os teores no solo sejam maiores no Argissolo (Tabela 1). Esse resultado, aliado ao observado para cobre, sugere que o extrator de solo utilizado não seja o mais adequado para esses dois micronutrientes.

**Tabela 5.** Teores de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em folhas maduras, folhas jovens e ramos de quatro plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas maduras				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	44,0b	48,7b	170a	166a	5,04b
Argissolo	56,9a	65,5a	140a	186a	6,98a
CV%	17,2	29,8	34,4	21,8	24,5
Solos	Folhas jovens				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	39,1b	55,4a	166a	40,4a	2,63b
Argissolo	56,0a	70,3a	137b	44,4a	3,51a
CV%	13,9	40,9	28,9	20,6	14,7
Solos	Ramos				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	16,5b	24,6b	42,1a	5,12a	1,72b
Argissolo	18,1a	43,4a	25,5b	5,90a	2,41a
CV%	9,78	37,8	53,7	21,8	19,8

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de Mo em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens de plantas cultivadas em Neossolo foram maiores que os de plantas cultivadas em Argissolo (Tabela 6) e isso está em consonância com a análise de solo em que o Neossolo apresenta maior teor desse micronutriente (Tabela 1). Os maiores teores de Mo foram encontrados em ramos (Tabela 6).

**Tabela 6.** Teores de molibdênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens de quatro plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Teor de molibdênio			
	Folhas maduras	Folhas jovens	Ramos	Vagens
Neossolo	0,37a	0,42a	2,42a	0,46a
Argissolo	0,21b	0,27b	0,67b	0,30b
CV%	56,2	48,6	33,5	23,0

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os conteúdos de uréia, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Mn, Fe e Cu em folhas e ramos de plantas cultivadas em Argissolo foram superiores aos de plantas cultivadas em Neossolo (Tabelas 7 e 8). Estes resultados são devido,

principalmente, à maior produção de massa dessas plantas no Argissolo (Tabela 3), além de maiores teores de vários nutrientes.

**Tabela 7.** Conteúdos de uréia e macronutrientes (mg) em folhas e ramos de quatro plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	34,2b	263b	16,7b	150b	112b	40,9b	10,2b
Argissolo	54,2a	462a	30,4a	383a	207a	66,7a	16,9a
CV%	35,8	28,4	34,8	28,2	29,6	29,1	29,9
Solos	Ramos						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	5,92b	55,2b	5,92b	45,0b	32,0b	15,8b	2,78b
Argissolo	12,0a	103,6a	12,0a	129a	62,8a	23,5a	4,82a
CV%	33,7	23,1	33,7	23,5	21,3	26,0	35,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 8.** Conteúdos de micronutrientes ( $\mu\text{g}$ ) em folhas e ramos de quatro plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	0,34b	0,19b	1,32b	1,73b	0,03b
Argissolo	0,79a	0,36a	1,97a	1,97a	0,06a
CV%	25,7	44,1	1,64	31,4	29,9
Solos	Ramos				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	0,09b	0,14b	0,20b	0,21b	0,01b
Argissolo	0,18a	0,43a	0,25a	0,72a	0,03a
CV%	23,7	53,7	30,0	161,7	29,8

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

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.

## REFERÊNCIAS

Agrianual. (2010) *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Agros comunicação/FNP Consultoria e Agroinformativos. 520p.

Alves, V. G. (2002) *Resposta do feijoeiro a doses de nitrogênio no plantio e cobertura e à inoculação de sementes com rizóbio*. 46 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Berton, R. S.; Pires, A. M. M.; Andrade, S. A. L.; Abreu, C. A. A.; Ambrosino, E. J.; Silveira, A. P. D. (2006) Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.8, p.1305-1312.

Brown, P. H.; Welch, R. M.; Cary, E. E. (1987) Nickel: A Micronutriente Essential for Higher Plants. *Plant Physiology*, v.85, p.801-803.

Disponível em <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/97977/decreto-4954-04>>. Acesso em 20 de agosto de 2009.

Furtini Neto, A. E.; Fernandes, L. A.; Faquin, V.; Silva, I. R. da; Accioly, A. M. de A. (2000) Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.3, p.567-573.



- Gerendás, J.; Zhu, Z.; Sattelmacher, B. (1998) Influence of N and Ni supply on nitrogen metabolism and urease activity in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, v.49, n.326, p.1545-1554.
- Gerendás, J., Polacco, J. C., Freyermuth, S. K., Sattelmacher, B. (1999) Significance of nickel for plant growth and metabolism. *Journal of Plant Nutrition of Soil Science*, v.162, p.241-256.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Kikuti, H.; Andrade, M. J. B. de; Carvalho, J. G. de; Morais, A. R. de (2006) Teores de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. *Bragantia*, v.65, n.2, p.347-354.
- Kirkby, E. A.; Römheld, V. (2007) Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Informações Agronômicas*, n.118, 24p.
- Kramer, U.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Raskin, I. L.; Salt, D. E. (2000) Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiology*, v.122, p.1343-1353.
- Kumar, R. G.; Dubey, R. S. (1999) Glutamine synthetase isoforms from rice seedlings: Effects of stress on enzyme activity and the protective roles of osmolytes. *Journal of Plant Physiology*, v.155, n.1, p.118-121.
- Lago, F. J. do; Furtini Neto, A. E.; Furtini, I. V.; Ramalho, M.A.P.; Horta I. de M.F. (2009) Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, n.2, p.440-447.
- Leal, R. M.; Prado, R. de M. (2008) Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. V.3, n.4, p.301-306.

- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. de. (1997) *Avaliação do estado nutricional das 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.
- Marenco, R. A.; Coelho Netto, R. A. (1994) Metabolismo de ureídeos em plantas superiores. *Pesquisa em Foco*, v.3, n.3, p.21-40.
- Mérigout, P.; Lelandais, M.; Bitton, F.; Renou, J. P.; Briand, X.; Meyer, C.; Daniel-Vedele, F. (2008) Physiological and transcriptomic aspects of urea uptake and assimilation in Arabidopsis plants. *Plant Physiology*, v. 147, p. 1225-1238.
- Nakagaki, S.; Friedemann, G. R.; Caiut, J. M. A. (2006) Metil coenzima M redutase (MCR) e o fator 430 (F<sub>430</sub>). *Química Nova*, v.29, n.5, p.1003-1008.
- Palacios, G.; Mataix, J. (1999) The influence of organic amendment and nickel pollution on tomato fruit yield and quality. *Journal of Environmental Science and Health part B pesticides food contaminants and Agricultural Wastes*, v.34, p.133-150.
- Piccini, D. F. (1990) *Toxidez do níquel em arroz e feijão*. 144f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Rosolem, C. A.; Marubayashi, O. M. (1994) Seja o doutor do seu feijoeiro. *Informe Agrônomo*, v.68, p.1-16.
- Silva, F. C. (2002) *Eficiência de uso de nitrogênio por seis cultivares de milho*. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

Vieira, N. M. B. *Crescimento e marcha de absorção de nutrientes no feijoeiro cvs. BRS-MG Talismã e Ouro Negro, em plantio direto e convencional*. 2006. 145 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Yu, J. W.; Woo, K. C. (1999) Correlation between the development of photorespiration and the change in activities of  $\text{NH}_3$  assimilation enzymes in greening oat leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.18, p.583-588.

### 3.3. EFEITO DE DOSES DE NÍQUEL EM FEIJOEIRO CAUPI CULTIVADO EM DOIS TIPOS DE SOLO

#### RESUMO

Objetivou-se neste trabalho verificar o crescimento, teores e conteúdos de uréia e nutrientes em feijoeiro caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. IPA 206 em função de doses de níquel e tipos de solos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, utilizando-se o esquema fatorial 5 x 2, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 5 kg de solo com quatro plantas. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) na forma de - NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O via foliar e dois tipos de solo, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb. As doses de Ni aplicadas promoveram sintomas de toxidez apenas nas folhas primárias do feijoeiro caracterizadas por pequenas manchas bruno avermelhadas que não progrediram ao longo do tempo e não interferiram no desenvolvimento das plantas. A aplicação foliar de Ni aumentou os teores deste micronutriente 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 e Cu em folhas maduras; K e B em folhas maduras, folhas jovens e ramos e Zn em folhas maduras e ramos.

**Palavras-Chave:** *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Cloreto de níquel. Urease.

## **EFFECT OF NICKEL DOSES IN COWPEA BEAN PLANT CULTIVATED IN TWO TYPES OF SOIL**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to investigate the growth, yields and nutrient content of urea in cowpea bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. IPA 206 due to contents of nickel and soil types. The experiment was carried out in a greenhouse at Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, using a 5 x 2 factorial scheme in a randomized block design with four replications. Each experimental unit consisted of a 5-kg-capacity pot with four plants. Treatments consisted of foliar applications of five nickel concentrations (0, 20, 40, 60 and 100 mg L<sup>-1</sup> Ni) in the form of NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O and two soils, a Typic Quartzipsamment and a Tb dystrophic Red-Yellow Ultisol. The foliar application of Ni increased levels of this micronutrient in stems, mature leaves, young leaves and pods of cowpea bean, indicating high mobility of this micronutrient in the plant, but did not alter the urea contents, indicating no effect on the activity of urease enzyme. The dry mass of the shoots and the levels of other nutrients were not affected by foliar application of Ni. Plants grown in Ultisol showed higher growth and higher levels of urea and Cu in mature leaves; K and B in mature leaves, young leaves and twigs and Zn in mature leaves and branches.

**Key words:** *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Nickel chloride. Urease.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma cultura importante para a alimentação das populações das regiões Norte e Nordeste do Brasil, principalmente por se constituir uma fonte protéica de origem vegetal. Tem ciclo mais curto que o feijoeiro comum, é mais resistente ao déficit hídrico e, por isso, é considerado uma cultura com alta rusticidade. É amplamente cultivado por pequenos agricultores, mas cultivos comerciais sob condição de irrigação estão possibilitando a expansão das áreas de cultivo (Cardoso et al., 1995). No entanto, os níveis de produtividade alcançados, 1.200 kg ha<sup>-1</sup>, estão aquém dos que poderiam ser realmente obtidos (Andrade Júnior et al., 2002).

O fato de o feijoeiro caupi não ser exigente em termos de fertilidade do solo, não significa que esta cultura não seja responsiva a adubação e/ou irrigação, entre outros tratamentos culturais. Portanto, pesquisas voltadas a fisiologia e o manejo da adubação dessa planta podem contribuir para o desenvolvimento dessa cultura tão importante para o país.

As plantas absorvem somente uma pequena proporção de níquel proveniente do solo, mas este micronutriente deve receber uma atenção especial. Isso, porque a sua mobilidade na planta é alta quando comparada a de outros metais (Gerendás et al., 1999) e o seu acúmulo na planta faz-se diferentemente, sendo maior nas folhas que nos ramos, nos grãos que nas folhas e nas partes jovens que nas partes adultas (Yu e Woo, 1999). Em tomate, concentrações críticas de Ni provocaram necrose nas folhas, redução da massa fresca e acúmulo nos frutos (Palacios e Mataix, 1999). Berton et al. (2006) observaram que a elevação da concentração de Ni no solo para 2,3 mg kg<sup>-1</sup> foi suficiente para aumentar a concentração desse metal nos grãos acima de 5 mg kg<sup>-1</sup> de massa fresca, tornando-os impróprios para o consumo humano.

A função do níquel em organismos superiores ainda não é totalmente conhecida, embora seja essencial para animais e plantas. 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, metil

coenzima M redutase, e provavelmente, muitas outras (Bai et al., 2006; Nakagaki et al., 2006).

Há pouca informação relativa ao efeito desse metal quando introduzido no ambiente agrícola. Dessa forma, objetivou-se, neste trabalho, verificar o efeito de doses de níquel no crescimento, teores e conteúdos de uréia e nutrientes em feijoeiro caupi [*V. unguiculata* (L.) Walp.] cv. IPA 206 cultivado em diferentes solos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada em Campos dos Goytacazes - RJ (Latitude= 21°19'23"; Longitude= 41°10'40"; Altitude= 14m), no período de 03/04/2009 a 20/05/2009.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em arranjo fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni, aplicados via foliar na forma de cloreto de níquel hexahidratado) e dois solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 5 kg de solo na base seca com quatro plantas.

Os solos utilizados foram coletados em profundidade de 0-20 cm, destorroados e passados em peneira com malha de 6 mm de diâmetro (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Características químicas de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico e de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>
	H <sub>2</sub> O 1:2,5	μS	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
Neossolo	5,03	79	136	67	39,4	3,9	1,5	36,7
Argissolo	5,62	120	19	180	98,6	13,4	0,5	35,1
	<b>Na</b>	<b>B</b>	<b>Mo</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
Neossolo	0,04	0,1	0,027	13,9	1,2	0,73	47,1	0,12
Argissolo	0,41	0,51	0,021	38,1	3,8	0,59	86,9	0,23
	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>MO</b>	<b>T</b>	<b>t</b>	<b>V</b>	<b>SB</b>	<b>m</b>
	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	--- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---		%	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%
Neossolo	3,77	8,6	14,9	82	47	55	45	3,22
Argissolo	4,60	13,5	23,6	152	118	77	117	0,42

**Tabela 2.** Características físicas de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico e de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, Campos dos Goytacazes – RJ, 2008

<b>Solos</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
Neossolo	937	20	43
Argissolo	552	68	380

Foi utilizado como material propagativo, sementes de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cv. IPA 206, provenientes do IPA em Recife-PE. A semeadura foi realizada no dia 03/04/2009. Foram semeadas doze sementes por vaso, que continham em média 1,0 mg kg<sup>-1</sup> de Ni. Dez dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste, mantendo-se cinco plantas mais vigorosas em cada vaso.

Vinte e três DAS no estágio de desenvolvimento V<sub>4</sub> (fase vegetativa em que a terceira folha trifoliada estava totalmente expandida e a planta iniciava a ramificação) foi feito o fornecimento de Ni às plantas, realizado por meio de um pulverizador manual calibrado para dispensar cerca de 170 L ha<sup>-1</sup>, de modo a simular uma aplicação mecanizada no campo. Foi adicionado a cada solução de níquel o espalhante adesivo Adesil<sup>®</sup> na proporção de 0,2 mL por litro.

Foram realizadas duas aplicações foliares (38 e 42 DAS) com uréia p.a. (solução contendo 10 g L<sup>-1</sup> de uréia) utilizando o mesmo procedimento adotado com o Ni.

Aos 47 dias após a semeadura, cinco dias após a última aplicação foliar com solução contendo uréia, foram coletadas as quatro plantas de cada vaso no



estádio de frutificação. Foi feita a partição de raízes, ramos, folhas maduras (basais), folhas jovens (apicais), vagens e nódulos para constituírem as amostras. Em seguida, esse material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 72°C, durante 48 horas, para determinação da massa seca das raízes, ramos, folhas e vagens. As raízes foram retiradas de cada vaso e lavadas com água corrente sobre peneira e bandeja. Os nódulos foram retirados das raízes e foram colocados em placas de Petri para secar em estufa conforme as outras amostras supracitadas para determinação da massa seca dos nódulos e também do número de nódulos.

As amostras contendo ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens foram moídas em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh e acondicionadas em recipientes plásticos herméticos. Foram determinados os teores de uréia, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, Mo e Ni nos ramos, folhas maduras e folhas jovens e os teores de Mo e Ni nas vagens.

Os teores de uréia foram determinados em material vegetal seco pelo método enzimático colorimétrico. Os teores de N, P e K foram determinados a partir do extrato da digestão sulfúrica. O N-orgânico, pelo método colorimétrico com reagente de Nessler (Jackson, 1965). O P por colorimetria, utilizando-se molibdato de amônio. O K por emissão em espectrofotômetro. Os demais nutrientes, exceto o B, foram determinados pelo extrato da digestão nítrico-perclórica. O Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. O S foi quantificado por turbidimetria, utilizando BaCl<sub>2</sub> e goma arábica. O cloreto foi determinado por titulometria com AgNO<sub>3</sub>, após submeter o material a extração aquosa em banho-maria a 40°C por uma hora e agitação. O boro foi determinado pelo método colorimétrico utilizando Azometina-H, após incineração em mufla a 550°C por 4 horas (Malavolta, 1997).

O Mo e o Ni foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite após digestão via seca. Foram pesados 500 mg de material vegetal seco e moído, colocados em frascos de 10 mL. Esses frascos foram levados à mufla a 550°C durante 4 horas. Após resfriamento, as amostras foram retiradas da mufla, sendo adicionados a cada frasco 2 mL de HNO<sub>3</sub> a 2% e colocados em banho de areia a 180°C até o material secar completamente, em seguida foram adicionados 10 mL de HNO<sub>3</sub> a 0,5%, sendo as amostras agitadas e

transferidas para tubos de ensaio de 15 mL e centrifugados a 2800 rpm durante 6 minutos. Os extratos foram utilizados para leitura.

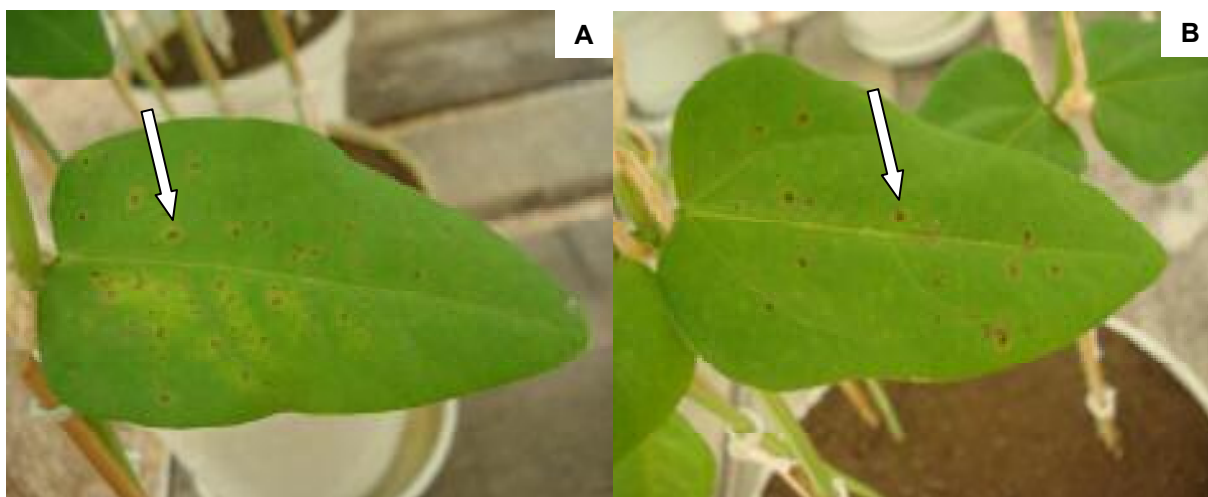
Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância e as diferenças verificadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para as comparações entre médias. Os efeitos de doses foram verificados pela análise de regressão, sendo os modelos matemáticos escolhidos segundo as equações com melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), pela significância dos coeficientes de regressão ( $\beta_i$ ) e do teste F da regressão, ambos até 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

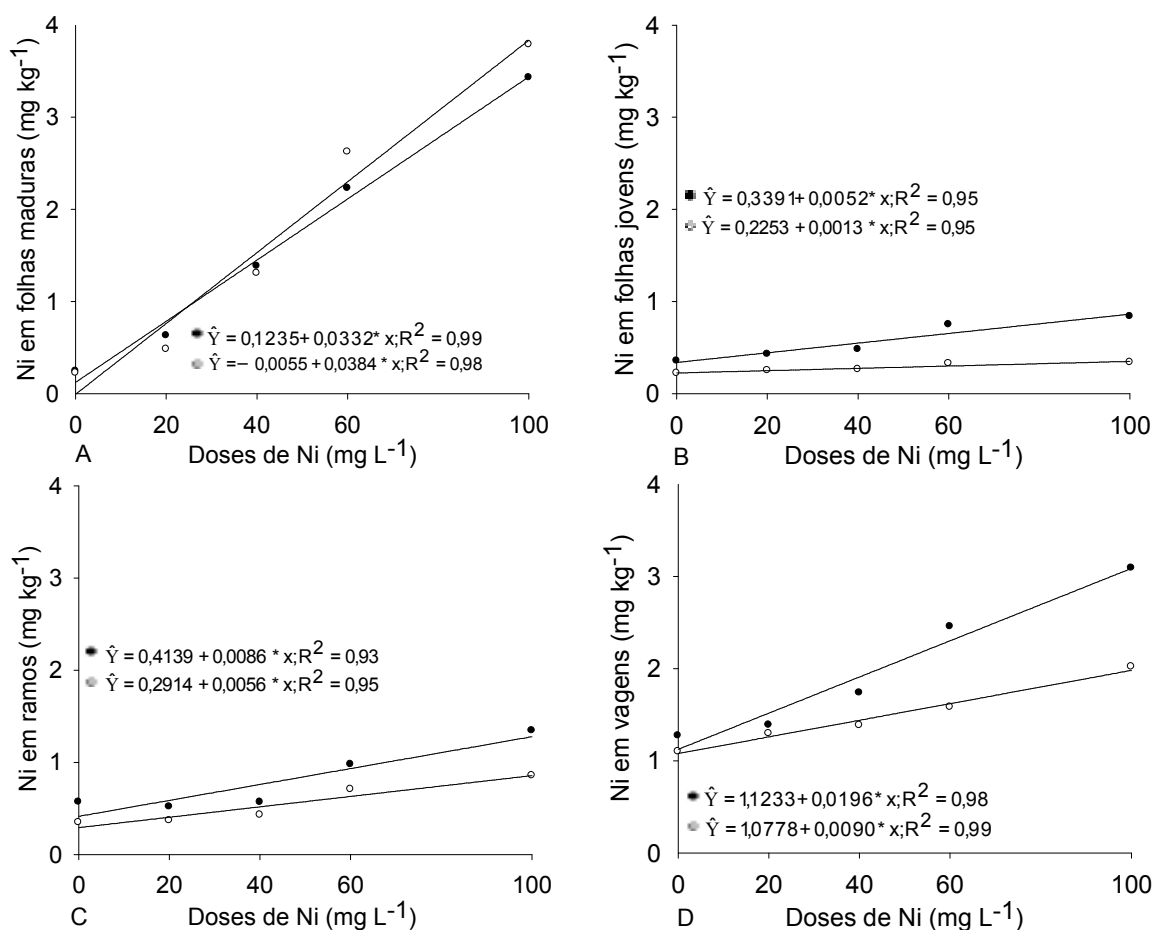
Após a pulverização foliar com solução contendo níquel, foram observadas pequenas manchas bruno avermelhadas nas folhas primárias do feijoeiro (Figura 1). Essas manchas não progrediram ao longo do tempo e não interferiram no crescimento posterior das plantas.

Os teores de Ni em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens aumentaram linearmente em função das doses de Ni aplicadas em ambos os solos estudados, com maior intensidade nas vagens no Neossolo (Figura 2 D). Em folhas maduras, não houve diferença entre os solos estudados (Figura 2A). Nas folhas jovens e ramos, a intensidade de aumento foi maior no Neossolo (Figura 2B e C). Tendo em vista que as folhas novas e vagens formaram-se após a aplicação foliar de Ni, o teor de Ni nessas partes da planta decorreu da translocação desse micronutriente das folhas mais velhas, principalmente. Verifica-se, portanto, que a translocação de Ni para as folhas jovens, ramos e vagens foi mais intensa nas plantas crescidas no Neossolo (Figura 2B, C e D).

Isso indica que as plantas absorveram o Ni aplicado via foliar e que esse micronutriente apresenta elevada mobilidade no feijoeiro. Os locais de acúmulo variam conforme as espécies e também conforme a sensibilidade ou tolerância das plantas ao níquel. O Ni pode ser encontrado no apoplasto, vacúolo ou no próprio citoplasma das células das plantas (Kramer et al., 2000).



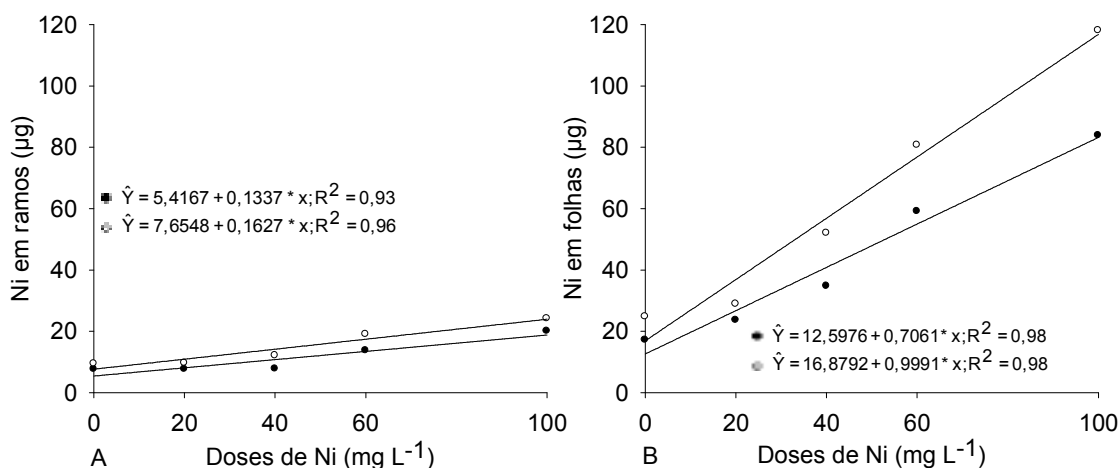
**Figura 1.** Sintomas de toxidez de níquel em feijoeiro caupi. (A e B) Manchas bruno avermelhadas em folhas primárias.



**Figura 2.** Teor de Ni em folhas maduras (A), (B) folhas jovens, (C) ramos e (D) vagens do feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cv. IPA 206 cultivado em (●) Neossolo Quartizarênico Órtico típico e (○) Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel.

O conteúdo de Ni em ramos e folhas aumentou linearmente em função das doses de Ni para ambos os solos estudados, com maior intensidade no Argissolo

(Figura 3 A e B), em decorrência do maior crescimento dessas partes da planta (Tabela 3). O acréscimo do conteúdo de Ni em folhas e ramos está relacionado ao aumento do teor desse micronutriente nessas partes do feijoeiro em função das doses de Ni aplicadas e, principalmente, à maior produção de massa.



**Figura 3.** Conteúdo de Ni em ramos (A) e folhas (B) do feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cv. IPA 206 cultivado em (●) Neossolo Quartizarênico Órtico típico e (○) Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de Ni.

Os valores médios da massa seca das folhas, ramos, vagens e parte aérea de plantas cultivadas em Argissolo foram maiores que os das plantas cultivadas em Neossolo (Tabela 3), pela melhor condição ao crescimento dessas plantas proporcionada pelo Argissolo que, no geral, possui melhor nível de fertilidade (Tabela 1).

A massa seca de raízes foi maior em plantas cultivadas em Neossolo, no entanto a massa seca de nódulos e os números de nódulos foram inferiores em plantas cultivadas nesse solo (Tabela 3). Quanto à massa seca da raiz, isso pode ter ocorrido porque o desenvolvimento do sistema radicular tem influência direta na eficiência da absorção dos nutrientes do solo, pois, plantas que crescem em solos com menor disponibilidade de nutrientes apresentam sistemas radiculares comparativamente maiores em relação a plantas que crescem em solos com maior disponibilidade de nutrientes e isso indica estratégia adaptativa da planta em direção à maior eficiência de exploração do solo (Teruel et al., 2001) ou mesmo, porque esse solo apresenta textura mais arenosa comparada ao Argissolo (Tabela 2) e com isso possui maior porosidade, o que facilita o crescimento das raízes.

**Tabela 3.** Valores médios da massa seca (g) e número de nódulos de quatro plantas de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* L. Walp] cv. IPA 206 cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas	Ramos	Vagens	Parte aérea	Raízes	Nódulos	N. de Nódulos
Neossolo	14,7b	12,8b	0,41b	27,9b	3,65a	0,68b	158b
Argissolo	21,2a	27,3a	3,01a	51,5a	2,90b	0,97a	329a
CV%	14,9	16,4	59,9	11,7	18,9	16,8	25,5

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de uréia nas folhas maduras, folhas jovens e ramos não foram alterados pelas doses de Ni nos dois solos estudados (Tabela 4), indicando que a quantidade da enzima urease pré-existente foi suficiente para manter baixo o teor de uréia existente na planta. Para promover a síntese e ativação da enzima urease é necessária a presença de uréia e de níquel (Gerendás et al., 1998). As quantidades de uréia aplicadas via foliar cinco dias antes da coleta das plantas foram muito pequenas ( $1,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e a originária da fixação simbiótica é também pequena. Havendo, pois, pequena disponibilidade de uréia não ocorre, por conseguinte, nova síntese de urease mesmo com a aplicação de Ni (Oliveira, 2009), justificando a ausência de efeito das doses de Ni na hidrólise da uréia.

Nas leguminosas de origem tropical, tais como a soja (*Glycine max* L.), feijão comum (*P. vulgaris* L.), amendoim (*Arachis hypogea* L.) e o feijão caupi [*V. unguiculata* (L.) Walp], o nitrogênio fixado é transportado para a parte aérea da planta sob a forma de ureídeos. Os três principais ureídeos são: ácido alantóico, alantoína e citrulina. Esses compostos são liberados no xilema e transportados para a parte aérea, onde são metabolizados, liberando uréia (Marenco e Coelho Netto, 1994). A uréia assim liberada é hidrolisada em  $\text{NH}_3$  e  $\text{CO}_2$  sob a ação da enzima urease (Mérigout et al., 2008).

A aplicação de níquel não afetou os teores de macronutrientes e dos demais micronutrientes em folhas e ramos das plantas em ambos os solos (Tabelas 4, 5 e 6).

O teor de N orgânico em folhas jovens de plantas cultivadas em Neossolo foi superior ao de folhas de plantas cultivadas em Argissolo (Tabela 4). Houve senescência precoce das folhas mais maduras das plantas cultivadas em Neossolo devido ao menor suporte de nutrientes desse solo, o que refletiu em

menor condição de crescimento das plantas. A fixação biológica de nitrogênio contribuiu para o N presente na planta e o N das folhas maduras se tornou fonte para as partes mais jovens, sendo translocado das folhas mais maduras para as mais jovens.

Os teores de uréia e Cu foram maiores em folhas maduras de plantas cultivadas em Argissolo (Tabelas 4 e 5).

Os teores de K e B em folhas maduras, jovens e ramos das plantas cultivadas em Argissolo foram maiores do que os de plantas cultivadas em Neossolo; o teor de Zn foi também maior nesse solo apenas nas folhas maduras e ramos (Tabelas 4 e 5).

Os teores de Mg em folhas maduras, jovens e ramos foi maior no Neossolo (Tabela 4), embora este solo contenha muito menos desse macronutriente (Tabela 1). A absorção de nutrientes pelas plantas é influenciada pelos fatores externos e internos inerentes à própria planta. No caso do Mg há antagonismo entre o K e Ca no solo, devido a competição entre esses íons (Mascarenhas et al., 2000). Os ramos e folhas das plantas apresentaram maiores teores de K (Tabela 4) em razão da maior concentração desses nutrientes nos solos (Tabela 1) que competem com o Mg, reduzindo sua absorção.

**Tabela 4.** Valores médios dos teores de uréia e macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em folhas maduras, folhas jovens e ramos de quatro plantas de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* L. Walp] cv. IPA 206 cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas maduras						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	0,56b	24,3a	1,47a	10,9b	18,4a	4,63a	0,88a
Argissolo	0,72a	25,9a	1,30b	23,8a	18,1a	2,98b	0,86a
CV%	23,4	11,2	17,2	19,0	7,46	14,9	12,6
Solos	Folhas jovens						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	0,94a	37,7a	2,23a	15,2b	14,4a	4,93a	0,97a
Argissolo	0,88a	32,1b	1,81b	20,3a	14,7a	2,94b	0,76a
CV%	35,5	12,8	18,7	14,3	11,4	13,4	18,7
Solos	Ramos						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	1,19a	11,0a	1,05a	8,46b	10,9a	2,37a	0,28a
Argissolo	1,24a	11,6a	1,02a	11,8a	10,4a	2,18b	0,18a
CV%	17,4	38,0	13,1	10,7	10,4	9,24	39,0

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 5.** Valores médios dos teores de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em folhas maduras, folhas jovens e ramos de quatro plantas de feijoeiro caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) cv. IPA 206 cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas maduras				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	32,9b	45,4b	221a	226a	4,05b
Argissolo	57,4a	61,7a	220a	193a	6,25a
CV%	18,5	24,3	19,4	41,2	22,1
Solos	Folhas jovens				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	22,6b	58,1a	257a	200a	8,55a
Argissolo	40,4a	63,5a	271a	181a	8,09a
CV%	16,7	41,1	32,4	58,4	44,5
Solos	Ramos				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	15,0b	27,8b	42,7a	54,3a	4,73a
Argissolo	15,9a	35,1a	44,7a	40,3a	5,34a
CV%	8,59	25,7	32,0	77,3	71,3

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de Mo em folhas jovens, ramos e vagens de plantas cultivadas em Neossolo foram maiores que os de plantas cultivadas em Argissolo (Tabela 6) e isso está em consonância com a análise de solo em que o Neossolo apresenta maior teor desse micronutriente (Tabela 1). Os maiores teores de Mo foram encontrados em folhas jovens, ramos e vagens de plantas cultivadas em Neossolo (Tabela 6).

**Tabela 6.** Valores médios dos teores de molibdênio ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens de quatro plantas de feijoeiro caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) cv. IPA 206, cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Teor de molibdênio			
	Folhas maduras	Folhas jovens	Ramos	Vagens
Neossolo	0,24a	0,54a	0,91a	0,70a
Argissolo	0,22a	0,38b	0,17b	0,29b
CV%	13,9	15,6	23,1	116

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os conteúdos de uréia, N, K, Ca, S, B, Zn, Mn, Fe e Cu em ramos e folhas de plantas cultivadas em Argissolo foram superiores aos de plantas cultivadas no

Neossolo (Tabelas 7 e 8), com exceção do Mg que apresentou maior conteúdo apenas em ramos no Argissolo. Estes resultados são devidos principalmente à maior produção de massa dessas plantas no Argissolo (Tabela 3), além de maiores teores de vários nutrientes.

**Tabela 7.** Valores médios dos conteúdos de uréia e macronutrientes (mg) em folhas e ramos de quatro plantas de feijoeiro caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) cv. IPA 206 cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	17,0b	1073b	66,2b	502b	637b	173a	31,6b
Argissolo	34,3a	1531a	96,6a	1242a	974a	184a	37,8a
CV%	22,9	16,9	12,6	11,2	13,7	14,3	15,1
Solos	Ramos						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	14,8b	138,7b	13,4b	107b	139b	30,3b	3,72b
Argissolo	34,3a	314,1a	27,7a	321a	284a	59,4a	4,94a
CV%	26,4	46,5	10,4	10,8	13,8	13,6	28,0

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 8.** Valores médios dos conteúdos de micronutrientes ( $\mu\text{g}$ ) em folhas e ramos de quatro plantas de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* L. Walp] cv. IPA 206 cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

Solos	Folhas				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	1,01b	1,87b	7,34b	6,61b	257b
Argissolo	2,48a	3,55a	11,5a	8,86a	448a
CV%	10,9	23,4	20,7	30,1	28,8
Solos	Ramos				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	0,21b	0,39b	0,58b	0,75b	71,2b
Argissolo	0,44a	0,95a	1,22a	1,09a	146a
CV%	11,2	19,5	20,7	48,2	76,3

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



#### 4. CONCLUSÕES

A aplicação foliar de Ni aumentou os teores deste micronutriente 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 e Cu em folhas maduras; K e B em folhas maduras, folhas jovens e ramos e Zn em folhas maduras e ramos.

#### REFERÊNCIAS

- Andrade Júnior, A. S. de; Rodrigues, B. H. N.; Frizzone, J. A.; Cardoso, M. J.; Bastos, E. A.; Melo, F. de B. (2002). Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.17-20.
- Bai, C.; Reilly, C. C.; Wood, B. W. (2006) Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. *Plant Physiology*, v.140, n.2, p.433-443.
- Berton, R. S.; Pires, A. M. M.; Andrade, S. A. L.; Abreu, C. A. A.; Ambrosino, E. J.; Silveira, A.P.D. (2006) Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.8, p.1305-1312.
- Cardoso, M. J.; Andrade Júnior, A. S.; Melo, F. B.; Frota, A. B. (1995) Avaliação agroeconômica da produção de sementes de caupi sob irrigação. Teresina: EMBRAPA/CPAMN, 6p. *Comunicado Técnico*, n.62.

- Gerendás, J.; Zhu, Z.; Sattelmacher, B. (1998) Influence of N and Ni supply on nitrogen metabolism and urease activity in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, v.49, n.326, p.1545-1554.
- Gerendás, J., Polacco, J. C., Freyermuth, S. K., Sattelmacher, B. (1999) Significance of nickel for plant growth and metabolism. *Journal of Plant Nutrition of Soil Science*, v.162, p.241-256.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Krajewska, B. (2009) Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v.59, p.9-21.
- Kramer, U.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Raskin, I. L.; Salt, D. E. (2000) Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiology*, v.122, p.1343-1353.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. de. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 319 p.
- Marenco, R. A.; Coelho Netto, R. A. (1994) Metabolismo de ureídeos em plantas superiores. *Pesquisa em Foco*, v.3, n.3, p.21-40.
- Mascarenhas, H.A.A.; Tanaka, R.T.; Carmelo, Q.A.C.; Gallo, P.B.; Ambrosano, G.M.B. (2000) Calcário e potássio para a cultura de soja. *Scientia Agricola*, v.57, n.3, p.445-449.
- Mérigout, P.; Lelandais, M.; Bitton, F.; Renou, J. P.; Briand, X.; Meyer, C.; Daniel-Vedele, F. (2008) Physiological and transcriptomic aspects of urea uptake and assimilation in *Arabidopsis* plants. *Plant Physiology*, v. 147, p. 1225–1238.
- Nakagaki, S.; Friedermann, G.R.; Caiut, J.M.A. (2006) Metil coenzima M redutase (MCR) e o fator 430 (F430). *Química Nova*, v.29, n.5, p.1003-1008.

- Oliveira, T. C. de. (2009) *Atividade da urease e crescimento de alface no solo em resposta a níquel*. 50f. Dissertação (Mestrado - Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Palacios, G.; Mataix, J. (1999) The influence of organic amendment and nickel pollution on tomato fruit yield and quality. *Journal of Environmental Science and Health part B pesticides food contaminants and Agricultural Wastes*, v.34, p.133-150.
- Silva, J. A. L. (2006) Sistemas ferro-enxofre – das geociências às biociências. *Química*, n.102, p.33-38.
- Teruel, D. A.; Dourado-Neto, D.; Hopmans, J.W.; Reichardt, K. (2001) Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. *Scientia Agricola*, v.58, n.1, p.55-60.
- Yu, J. W.; Woo, K. C. (1999) Correlation between the development of photorespiration and the change in activities of NH<sub>3</sub> assimilation enzymes in greening oat leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.18, p.583-588.
- Wood, B. (2007) O níquel na nutrição mineral e na defesa das plantas contra doenças. *Informações Agronômicas*, n.119, p.8-11.

### 3.4. SINTOMAS DE TOXIDAZ DE NÍQUEL EM FEIJOEIRO COMUM

#### RESUMO

Apesar de o Ni ser importante no metabolismo do N em leguminosas, o feijoeiro é considerado bastante sensível a doses de Ni. Objetivou-se caracterizar os sintomas de toxidez de níquel em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ. Foram aplicados (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni), na forma de cloreto de níquel hexahidratado - NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O na parte aérea de plantas de feijoeiro aos 25 dias após a semeadura. As plantas que receberam 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni apresentaram folhas cloróticas e com manchas acinzentadas que coalesceram e se tornaram necróticas em um estágio mais avançado, sendo que as maiores doses provocaram sintomas mais intensos de toxidez.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Diagnóstico visual. Clorose. Necrose.

## NICKEL TOXICITY IN COMMON BEAN

### ABSTRACT

Despite the importance of Ni in the N metabolism of legumes, common bean is considered very sensitive to Ni doses. The objective of this study was to characterize the toxicity symptoms of nickel in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola. The experiment was conducted in greenhouse in the campus of the North Fluminense State University Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ. Solutions containing 0, 20, 40, 60 and 100 mg L<sup>-1</sup> of Ni, in the form of nickel chloride hexahydrate (NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O), were applied to shoots of common bean plants at the rate of 2.5 mL of solution per plant, 25 days after sowing. Plants treated with 100 mg L<sup>-1</sup> of Ni showed chlorotic leaves with gray spots that coalesced and became necrotic in a more advanced stage, with the highest doses causing more severe toxicity symptoms.

**Key words:** *Phaseolus vulgaris* L. Visual diagnosis. Chlorosis. Necrosis.

Até a década de 70, o níquel (Ni) não era considerado essencial para as plantas, sendo o foco dos estudos voltado para o seu efeito tóxico (Galdos et al., 2004; Kopittke et al., 2007). Desta forma, procurava-se entender como plantas hiperacumuladoras de Ni são capazes de absorver, acumular e tolerar as altas concentrações desse elemento em seus tecidos no intuito de utilizar técnicas como a fitoextração visando recuperar solos poluídos (Giordani et al., 2005; Ingle et al., 2005; Broadshurts, 2009). No entanto, a descoberta que o Ni é um componente da enzima urease e que está presente em muitas espécies de plantas, provocou interesse científico pela pesquisa referente ao papel do Ni em plantas superiores. Desde então, tem-se obtido respostas do desenvolvimento de plantas a fertilização de Ni sob condições de campo (Wood et al., 2004a, b, c) e em plantas cultivadas em soluções nutritivas (Tan et al., 2000; Neves et al., 2007).

Relatos de que adições de Ni refletem no desenvolvimento das plantas se tornaram comuns, bem como a variabilidade entre as espécies vegetais e mesmo

entre cultivares da mesma espécie quanto à necessidade e tolerância ao Ni em seus tecidos. Mishra e Kar (1974) verificaram, em ensaios utilizando solução nutritiva, que o Ni é tóxico às plantas em níveis de 1 a 300 mg kg<sup>-1</sup>, dependendo das espécies. Quantidades pequenas de Ni (0,01 a 5 µg g<sup>-1</sup> de massa seca) são suficientes para suprir as necessidades de algumas espécies de plantas superiores. Porém, concentrações altas de Ni podem provocar toxidez às plantas (Seregin e Kozhevnikova, 2006) e até mesmo a morte como verificaram Berton et al. (2006) ao aplicarem 210 mg kg<sup>-1</sup> no solo usando como fonte o sulfato de níquel - NiSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O. Independente da presença ou ausência de calcário, essa dose foi letal ao feijoeiro quando semeado poucos dias após a adição do Ni ao solo.

Apesar de o Ni ser importante no metabolismo do N em leguminosas, o feijoeiro é considerado bastante sensível a doses de Ni em relação a outras culturas. O feijoeiro tem sua produção reduzida significativamente quando os teores foliares de Ni estão acima de 40 mg kg<sup>-1</sup>, bem como há efeito negativo nos teores de clorofila total, devido a menor absorção de Mg pelas plantas provocadas pelas altas doses de Ni (Piccini e Malavolta, 1992). No solo, a dose 2,3 mg kg<sup>-1</sup> de Ni na forma de NiSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O foi suficiente para aumentar o teor desse metal nos grãos acima de 5 mg kg<sup>-1</sup> de massa fresca e torná-los impróprios para o consumo humano (Berton et al., 2006).

Objetivou-se caracterizar os sintomas de toxidez de níquel em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Setor de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ, utilizando como planta teste o feijoeiro comum (*P. vulgaris* L.) cv. Pérola.

Foi utilizado um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, coletado em profundidade de 0-20 cm (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas do Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

pH	CE	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	B	Mo	Mn
	µS	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
5,62	119,71	19	180	98,6	13,4	0,5	35,06	0,41	0,51	0,021	38,1
Zn	Cu	Fe	Ni	S	C	MO	T	t	SB	V	mt
		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%
3,8	0,59	86,9	0,23	4,60	13,51	23,59	152,08	117,52	117,02	77	0,42

\* pH em H<sub>2</sub>O 1:2,5

Os tratamentos foram constituídos de aplicações de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni), na forma de cloreto de níquel hexahidratado - NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, com quatro repetições e em cada vaso foram mantidas quatro plantas.

Foram avaliados o crescimento das plantas, a composição mineral do tecido foliar e também a hidrólise da uréia. Porém, neste trabalho, foi mostrado a caracterização dos sintomas de toxidez de níquel, observados em plantas tratadas com 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni.

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 5 kg de solo e quatro plantas. Foi adicionado a cada solução de Ni o espalhante adesivo Adesil<sup>®</sup> (0,2 mL L<sup>-1</sup>) no momento da pulverização foliar. A solução com o Ni foi aplicada aos vinte e cinco dias da semeadura, quando as plantas estavam no estágio de desenvolvimento V<sub>4</sub>, fase vegetativa em que a terceira folha trifoliada se apresentava totalmente expandida e a planta iniciava a ramificação.

Os sintomas de toxidez foram observados 36 horas após a aplicação de Ni. Os efeitos foram observados nos tecidos jovens e maduros com predominância e maior intensidade nos tecidos maduros.

Os efeitos tóxicos do Ni são manifestados por vários sintomas de injúria, incluindo inibição no crescimento, distúrbios fisiológicos no processo fotossintético, no transporte de fotoassimilados, na nutrição mineral e no potencial hídrico das plantas, bem como, clorose, necrose e murchamento (Krupa et al., 1993; Pandey e Sharma, 2002). Embora a toxidez provocada pelos metais pesados seja amplamente estudada em plantas, os mecanismos da ação tóxica do Ni ainda permanecem pouco esclarecidos. Porém, muitas evidências indicam que a toxidez do Ni pode ser atribuída, também, ao estresse oxidativo a nível celular (Baccouch et al., 2001; Gonnelli et al., 2001).

Sob condições de estresse, incluindo exposição a concentrações excessivas de metais pesados, há desequilíbrio na remoção de espécies reativas de oxigênio em tecidos da planta (Gratão et al., 2005; Gratão et al., 2008). Isso pode, conseqüentemente, conduzir a danos oxidativos de macromoléculas importantes como lipídios, proteínas e ácidos nucléicos (Kehrer, 2000). O indicador mais comum do estresse oxidativo é a peroxidação do lipídio resultando em perturbações na integridade da membrana e, por conseguinte, sua permeabilidade é aumentada. Acredita-se que a peroxidação de lipídios seja um

importante fator de inibição de crescimento em plantas, sujeitas a metais pesados, inclusive ao Ni (Baccouch et al., 2001).

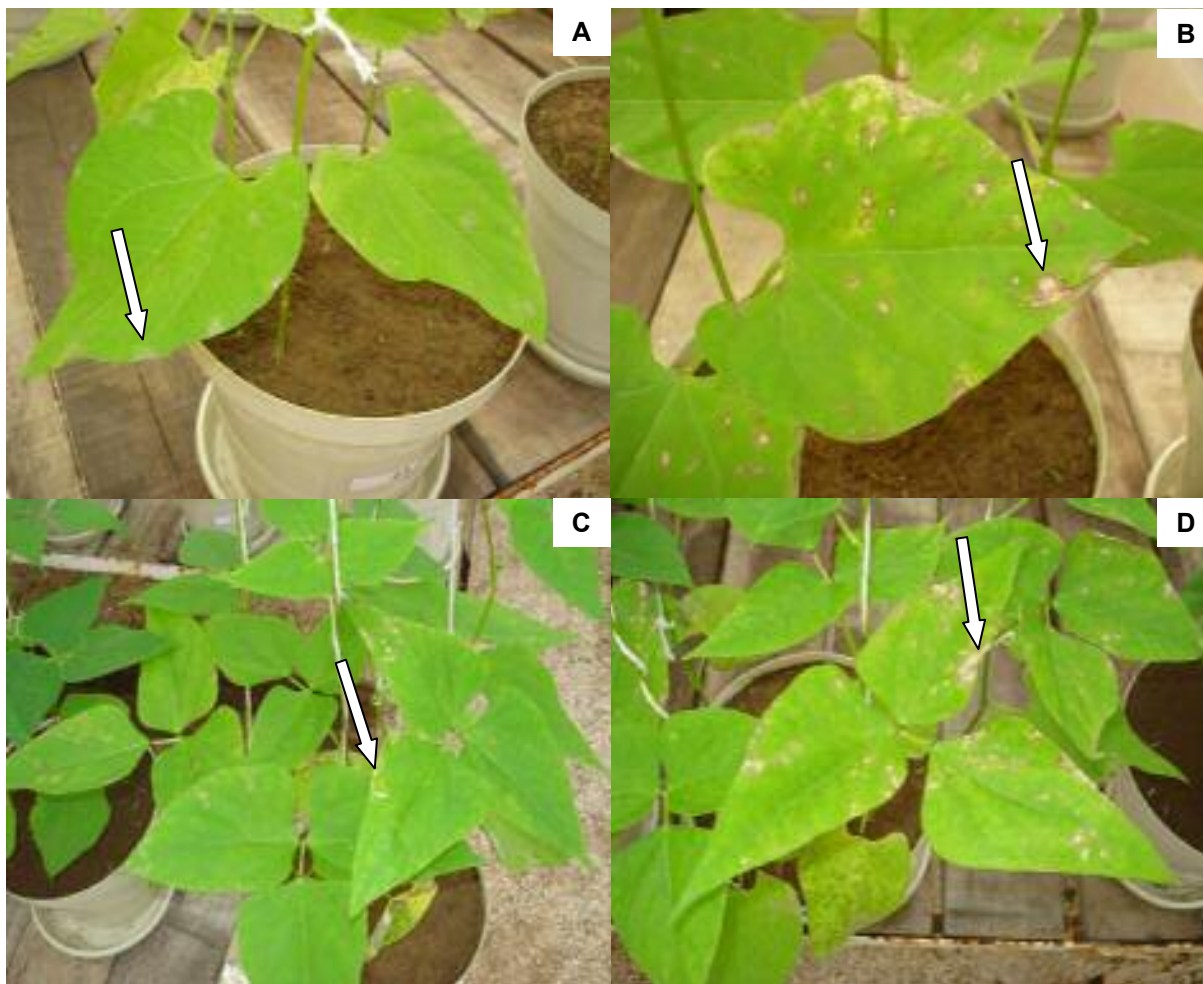
Desde que o estresse causado pelo Ni interfere na atividade da superóxido dismutase, pode ocorrer acúmulo de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) no tecido foliar, e o  $H_2O_2$  inibe o crescimento de plantas tratadas com metal pesado (Chen et al., 2000), sendo um substrato para peroxidases que participa no processo de enrijecimento da parede celular, o que provoca restrições no alongamento das células (Díaz et al., 2001). Ao avaliarem o efeito do Ni no conteúdo de espécies reativas de oxigênio e atividade da enzima oxidativa em folhas de trigo, Gajewska e Skolodowska (2007) afirmaram que mudas de trigo tratadas com 100  $\mu M$  de Ni acumularam  $O_2^{\cdot -}$  e  $H_2O_2$  no tecido foliar. E o aumento do conteúdo de espécies reativas de oxigênio foi acompanhado por inibição na atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase que são responsáveis pela desintoxicação celular ao eliminar o peróxido de hidrogênio.

No presente trabalho, as plantas de feijoeiro que receberam Ni apresentaram sintomatologia visual de toxidez caracterizada por clorose nas folhas. Esse sintoma pode estar relacionado a deficiência de Fe, visto que, níveis elevados de níquel inibem a absorção, translocação e o metabolismo do ferro nas plantas (Foy et al., 1978), podendo ocorrer diminuição da atividade da catalase, e competição do níquel com o ferro na sua posição no grupo protoporfirínico da enzima (Granick, 1951). A presença de Ni em níveis elevados também pode afetar o acúmulo de pigmentos na planta, refletindo em alterações na relação clorofila/carotenóide e na relação clorofila *a/b*, em que os carotenóides são mais sensíveis que a clorofila, e a clorofila *b* mais susceptível do que a clorofila *a*. Desse modo, a evolução desse efeito se estende ao aparato fotossintético da planta, interferindo a eficiência fotoquímica do fotossistema II. Ambos os fotossistemas, I e II são inibidos pela concentração de Ni, mas o fotossistema II é mais fortemente afetado pelos distúrbios no ciclo de Calvin e pela inibição do transporte de elétrons, devido às quantidades excessivas de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações de carboxilação da fotossíntese (Krupa et al., 1993).

Além da clorose, os folíolos e/ou folhas maduras apresentaram inicialmente manchas acinzentadas irregulares e aleatórias no limbo, que em estágio mais avançado, coalesceram e necrosaram (Figura 1). Esses resultados são



semelhantes aos relatados para feijão (Piccini e Malavolta, 1992) e podem estar relacionados com o bloqueio da atividade respiratória e desnaturação do protoplasma celular (Niethammer, 1931), que culmina em morte do tecido nesses pontos.



**Figura 1.** Sintomas de toxidez de níquel em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola cultivado em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, após a aplicação de níquel via foliar. (A) Manchas acinzentadas iniciais; (B, C e D) Clorose seguida de necrose.

## REFERÊNCIAS

- Baccouch, S.; Chaoui, A.; El Ferjani, E. (2001) Nickel toxicity induces oxidative damage in *Zea mays* roots. *Journal of Plant Nutrition*, v.24, p.1085-1097.
- Berton, R. S.; Pires, A. M. M.; Andrade, S.A.L.; Abreu, C.A.A.; Ambrosino, E.J.; Silveira, A.P.D. (2006) Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.8, p.1305-1312.
- Broadhurst, C. L.; Tappero, R. V.; Maugel, T. K.; Erbe, E. F.; Sparks, D. L.; Chaney, R.L. (2009) Interaction of nickel and manganese in accumulation and localization in leaves of the Ni hyperaccumulators *Alyssum murale* and *Alysum corsicum*. *Plant Soil*, v.314, p.35-48.
- Chen, L. M.; Lin, C. C.; Kao, C. H. (2000) Copper toxicity in rice seedlings: Changes in antioxidative enzyme activities, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> level, and cell wall peroxidase activity in roots. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, v.41, n.2, p.99-103.
- Díaz, J.; Bernal, A.; Pomar, F.; Merino, F. (2001) Induction of shikimate dehydrogenase and peroxidase in pepper (*Capsicum annum* L.) seedlings in response to copper stress and its relation to lignification. *Plant Science*, v.161, p.179-188.
- Foy, C. D.; Chaney, R. L.; White, M. C. (1978) The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Physiology*, v. 29, p. 511-566.
- Gajewska, E.; Skolodowska, M. (2007) Effect of nickel on ROS content and antioxidative enzyme activities in wheat leaves. *BioMetals*, v.20, p.27-36.
- Galdos, M. V.; de Maria, I. C.; Camargo, O. A. (2004) Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.569-577.

- Giordani, C.; Zanchi, C. (2005) Phytoremediation of soil polluted by nickel using agricultural crops. *Environmental Management*, v.36, n.5, p.675-681.
- Gonnelli, C.; Galardi, F.; Gabbrielli, R. (2001) Nickel and copper tolerance and toxicity in three Tuscan populations of *Silene paradoxa*. *Physiologia Plantarum*, v.113, p.507-514.
- Granick, S. (1951) Biosynthesis of chlorophyll and related pigments. *Annual Review of Plant Physiology*, v.2, p.115-144.
- Gratão, P. L.; Polle, A.; Lea, P. J.; Azevedo, R. A. (2005) Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*, v.32, p.481-494.
- Gratão, P. L.; Pompeu, G. B.; Capaldi, F. R.; Vitorello, V. A.; Lea, P. J.; Azevedo, R. A. (2008) Antioxidant response of *Nicotiana tabacum* cv. Bright Yellow 2 cells to cadmium and nickel stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, v.94, p. 73-83, 2008.
- Ingle, R. A.; Mugford, S. T.; Rees, J. D.; Campbell, M. M.; Smith, J. A. C. (2005) Constitutively high expression of the histidine biosynthetic pathway contributes to nickel tolerance in hyperaccumulator plants. *The Plant Cell*, v.17, p.2089-2106.
- Kehrer, J. P. (2000) The Haber-Weiss reaction and mechanisms of toxicity. *Toxicology*, v.149, p.43-50.
- Kopittke, P. M.; Asher, C. J.; Menzies, N. W. (2007) Toxic Effects of Ni<sup>2+</sup> on Growth of Cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant Soil*, v.292, p.283-289.
- Krupa, Z.; Siedlecka, A.; Maksymiec, W.; Baszynski, Y. T. (1993) In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. *Journal of Plant Physiology*, v.142, p.664-668.

- Mishra, D.; Kar, M. (1974) Nickel in plant growth and metabolism. *Botanical Review*, v.40, n.4, p.395-452.
- Neves, O. S. C.; Ferreira, E. V. O.; Carvalho, J. G.; Soares, C. R. F. S. (2007) Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.3, p.485-490.
- Niethammer, A. (1931) The influence of heavy metal compounds on plant cells. *Protoplasma*, v. 12, p. 554-558.
- Pandey, N.; Sharma, C. P. (2002) Effect of heavy metals  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$  on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*, v.163, p.753-758.
- Piccini, D. F.; Malavolta, E. (1992) Toxicidade de níquel em arroz e feijão em solos ácidos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p. 229-233.
- Seregin, I. V.; Kozhevnikova, A. D. (2006) Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, v.53, n.2, p.257-277.
- Tan, X. W.; Ikeda, H.; Oda, M. (2000) Effects of nickel concentration in the nutrient solution on the nitrogen assimilation and growth of tomato seedlings in hydroponic culture supplied with urea or nitrate as the sole nitrogen source. *Scientia Horticulturae*, v.84, p.265-273.
- Wood, B. W.; Reilly, C. C.; Nyczepir, A. P. (2004a) Mouse-ear of pecan: I. Symptomatology and occurrence. *Hortscience*, v.39, n.1, p.87-94.
- Wood, B. W.; Reilly, C. C.; Nyczepir, A.P. (2004b) Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. *Hortscience*, v.39, n.1, p.95-100.
- Wood, B. W.; Reilly, C. C.; Nyczepir, A.P. (2004c) Mouse-ear of pecan: A nickel deficiency. *Hortscience*, v.39, n.1, p.1238-1242.

## CONCLUSÕES GERAIS

### Conclusões do Trabalho 1

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.

### Conclusões do Trabalho 2

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.

### **Conclusões do Trabalho 3**

A aplicação foliar de Ni aumentou os teores deste micronutriente em ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens dos feijoeiros 'Princesa' e 'IPA 206', mas não alterou a atividade da urease estimada pela presença de uréia nessas partes;

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 e Cu em folhas maduras; K e B em folhas maduras, folhas jovens e ramos e Zn em folhas maduras e ramos

### **Conclusões do Trabalho 4**

Os principais sintomas de toxidez no tecido foliar do feijoeiro, provocados pelo níquel, caracterizam-se por clorose seguida de necrose com comprometimento da área fotossinteticamente ativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwala, S. C.; Bischt, S. S.; Sharma, C. P. (1977) Relative effectiveness of certain heavy metals in producing toxicity and symptoms of deficiency in barley. *Canadian Journal of Botany*, v.55, n.10, p.1299-1307.
- Agriannual. (2010) *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Agros comunicação/FNP Consultoria e Agroinformativos. 520p.
- Alves, V. G. (2002) *Resposta do feijoeiro a doses de nitrogênio no plantio e cobertura e à inoculação de sementes com rizóbio*. 2002. 46 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Andrade Júnior, A. S. de; Rodrigues, B. H. N.; Frizzone, J. A.; Cardoso, M. J.; Bastos, E. A.; Melo, F. de B. (2002). Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.17-20.
- Baccouch, S.; Chaoui, A.; El Ferjani, E. (2001) Nickel toxicity induces oxidative damage in *Zea mays* roots. *Journal of Plant Nutrition*, v.24, p.1085-1097.
- Bai, C.; Reilly, C. C.; Wood, B. W. (2006) Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. *Plant Physiology*, v.140, n.2, p.433-443.

- Berton, R. S.; Valadares, J. M. A. S.; Camargo, O. A.; Bataglia, O. C. (1997) Peletização do lodo de esgoto e adição de  $\text{CaCO}_3$  na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.685-691.
- Berton, R. S.; Pires, A. M. M.; Andrade, S. A. L.; Abreu, C. A. A.; Ambrosino, E. J.; Silveira, A. P. D. (2006) Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.8, p.1305-1312.
- Boussama N., Quariti O, Ghorbal M. H. (1999) Changes in growth and nitrogen assimilation in barley seedlings under cadmium stress. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, n.731-752.
- Broadhurst, C. L.; Tappero, R. V.; Maugel, T. K.; Erbe, E. F.; Sparks, D. L.; Chaney, R.L. (2009) Interaction of nickel and manganese in accumulation and localization in leaves of the Ni hyperaccumulators *Alyssum murale* and *Alysum corsicum*. *Plant Soil*, v.314, p.35-48.
- Brown, P. H.; Welch, R. M.; Cary, E. E. (1987a) Nickel: A Micronutriente Essential for Higher Plants. *Plant Physiology*, v.85, p.801-803.
- Brown, P. H.; Welch, R. M.; Cary, E. E.; Checkai, R. T. (1987b) Beneficial effects of nickel on plant growth. *Journal of Plant Nutrition*, v.10, n.9-16, p.2125-2135.
- Cardoso, M. J.; Andrade Júnior, A. S.; Melo, F. B.; Frota, A. B. (1995) *Avaliação agroeconômica da produção de sementes de caupi sob irrigação*. Teresina: EMBRAPA/CPAMN, 6p. Comunicado Técnico, n.62.
- Centurión Maciel, C. A. (2003) *Química e absorção de zinco, cobre e níquel por braquiária (Brachiaria decumbens Stapf) em solo tratado com biossólido*. 101f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola de Campinas, São Paulo.



- CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2006) *Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo 2006*. Fonte: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 14 de agosto 2009.
- Chen, L. M.; Lin, C. C.; Kao, C. H. (2000) Copper toxicity in rice seedlings: Changes in antioxidative enzyme activities, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> level, and cell wall peroxidase activity in roots. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, v.41, n.2, p.99-103.
- Cottenie, A.; Camerlynck, R.; Verloo, M.; Dhaese, A. (1979) Fractionation and determination of trace elements in plants, soils and sediments. *Pure and Applied Chemistry*, v.52, n.1, p.45-53.
- Díaz, J.; Bernal, A.; Pomar, F.; Merino, F. (2001) Induction of shikimate dehydrogenase and peroxidase in pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings in response to copper stress and its relation to lignification. *Plant Science*, v.161, p.179-188.
- Disponível em <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/97977/decreto-4954-04>>. Acesso em 20 de agosto de 2009.
- 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.
- Epstein, E.; Bloom, A. (2006) *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. (Trad.) Nunes, M.E.T. Londrina: Editora Planta, 402 p.
- Eskew, D. L.; Welch, R. M.; Cary, E. E. (1983) An essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. *Science*, v.222, p.621-623.
- Eskew, D. L.; Welch, R. M.; Norvell, W. A. (1984) Nickel in Higher Plants: Further evidence for an essential role. *Plant Physiology*. v.76, 691-693.

- Fatibello-Filho, O.; Vieira, I. da C. (2002) Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. *Química Nova*, v. 25, n.3, p.455-464.
- Firme, L. P. (2005) *Cinética de degradação microbiológica de torta de filtro no solo na presença de cádmio e níquel*. 74f. Dissertação (Mestrado - Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- Fixen, P. E. (2009) Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. *Informativo Agrônomo*, n.126.
- Foy, C. D.; Chaney, R. L.; White, M. C. (1978) The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Physiology*, v. 29, p. 511-566.
- Furtini Neto, A. E.; Fernandes, L. A.; Faquin, V.; Silva, I. R. da; Accioly, A. M. de A. (2000) Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.3, p.567-573.
- Gabos, M. B. (2008) *Lixiviação e absorção de chumbo pelo feijão-de-porco assistido pela aplicação de EDTA no solo*. 60f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas - Campinas, São Paulo.
- Gajewska, E.; Skolodowska, M. (2007) Effect of nickel on ROS content and antioxidative enzyme activities in wheat leaves. *BioMetals*, v.20, p.27-36.
- Galardi, F.; Mengoni, A.; Pucci, S.; Barletti, L.; Massi, L.; Barzanti, R.; Gabbrielli, R.; Gonnelli, C. (2007) Intra-specific differences in mineral element composition in the Ni-hyperaccumulator *Alyssum bertolonii*: A survey of populations in nature. *Environmental and Experimental Botany*, v.60, p.50-56.
- Galdos, M. V.; de Maria, I. C.; Camargo, O. A. (2004) Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutrófico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.569-577.

- Gerendás, J.; Sattelmacher, B. (1997) Significance of Ni supply for growth, urease activity and the concentrations of urea, amino acids and mineral nutrients of urea-grown plants. *Plant and Soil*, n.190, p.153-162.
- Gerendás, J.; Zhu, Z.; Sattelmacher, B. (1998) Influence of N and Ni supply on nitrogen metabolism and urease activity in rice (*Oryza sativa* L.) *Journal of Experimental Botany*, v.49, n.326, p.1545-1554.
- Gerendás, J., Polacco, J. C., Freyermuth, S. K., Sattelmacher, B. (1999) Significance of nickel for plant growth and metabolism. *Journal of Plant Nutrition of Soil Science*, v.162, p.241-256.
- Giordani, C.; Zanchi, C. (2005) Phytoremediation of soil polluted by nickel using agricultural crops. *Environmental Management*, v.36, n.5, p.675-681.
- Gonçalves Júnior, A. C.; Sacon, E.; Mondardo, E. (2004) Capacidade dos métodos extratores e fitodisponibilidade de cobre para cultura do milho cultivado em argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico. *Revista Varia Scientia*, v.4, n.8, p.103-111.
- Gonnelli, C.; Galardi, F.; Gabbrielli, R. (2001) Nickel and copper tolerance and toxicity in three Tuscan populations of *Silene paradoxa*. *Physiologia Plantarum*, v.113, p.507-514.
- Graham, P. H.; Vance, C. P. (2000) Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Research*, v.65, p.93-106.
- Granick, S. (1951) Biosynthesis of chlorophyll and related pigments. *Annual Review of Plant Physiology*, v.2, p.115-144.
- Gratão, P. L.; Polle, A.; Lea, P. J.; Azevedo, R. A. (2005) Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*, v.32, p.481-494.

- Gratão, P. L.; Pompeu, G. B.; Capaldi, F. R.; Vitorello, V. A.; Lea, P. J.; Azevedo, R. A. (2008) Antioxidant response of *Nicotiana tabacum* cv. Bright Yellow 2 cells to cadmium and nickel stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, v.94, p. 73-83.
- Hungria, M.; Vargas, M. A. T. (2000) Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research*, v.65, p.151-164.
- Hunter, J. G.; Vergnano, O. (1952) Nickel toxicity in plants. *Annals of Applied Biology*, v.39, p.279-284.
- Ingle, R. A.; Mugford, S. T.; Rees, J. D.; Campbell, M. M.; Smith, J. A. C. (2005) Constitutively high expression of the histidine biosynthetic pathway contributes to nickel tolerance in hyperaccumulator plants. *The Plant Cell*, v.17, p.2089-2106.
- Iniguez, A. L.; Robleto, E. A.; Kent, A. D.; Triplett, E. W. (2004) Significant yield increase in *Phaseolus vulgaris* obtained by inoculation with a trifolitoxin-producing, Hup<sup>+</sup> strain of *Rhizobium leguminosarum* bv. *Phaseoli*. Online. *Crop Management* doi: 10.1094/CM-2004-0301-07-RV.
- Inselsbacher, E.; Cambui, C. A.; Richter, A.; Stange, C. F.; Mercier, H.; Wanek, W. (2007) Microbial activities and foliar uptake of nitrogen in the epiphytic bromeliad *Vriesea gigantea*. *New Phytologist*, v.175, n.2, p.311-320.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Krajewska, B. (2009) Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v.59, p.9-21.
- Kehrer, J. P. (2000) The Haber-Weiss reaction and mechanisms of toxicity. *Toxicology*, v.149, p.43-50.

- Kidd, P. S.; Castro, C. B.; Lestón, M. G.; Monterroso C. (2007) Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. v.16, n.2, p.26-43.
- Kikuti, H.; Andrade, M. J. B. de; Carvalho, J. G. de; Morais, A. R. de (2006) Teores de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. *Bragantia*, v.65, n.2, p.347-354.
- Kirkby, E. A.; Römheld, V. (2007) Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Informações Agronômicas*, n.118, 24p.
- Klucas, R. V.; Hanus, F. J.; Russell, S. A.; Evans, H. J. (1983) Nickel: a micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.80, n.8, p. 2253-2257.
- Kopittke, P. M.; Asher, C. J.; Menzies, N. W. (2007) Toxic Effects of Ni<sup>2+</sup> on Growth of Cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant Soil*, v.292, p.283-289.
- Kramer, U.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Raskin, I. L.; Salt, D. E. (2000) Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiology*, v.122, p.1343-1353.
- Krupa, Z.; Siedlecka, A.; Maksymiec, W.; Baszynski, Y. T. (1993) In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. *Journal of Plant Physiology*, v.142, p.664-668.
- Kumar, R. G.; Dubey, R. S. (1999) Glutamine synthetase isoforms from rice seedlings: Effects of stress on enzyme activity and the protective roles of osmolytes. *Journal of Plant Physiology*, v.155, n.1, p.118-121.

- Lago, F. J. do; Furtini Neto, A. E.; Furtini, I. V.; Ramalho, M. A. P.; Horta, I. de M. F. (2009) Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, n.2, p.440-447.
- Lam, H. M.; Coschigano, K. T.; Oliveira, I. C.; Melo-Oliveira, R.; Coruzzi, G. M. (1996) The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.47, p.569-593.
- Leal, R. M.; Prado, R. de M. (2008) Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.3, n.4, p.301-306.
- Liu, Y. M.; Chaney, R. L.; Brewer, E. P.; Angle, J. S.; Nelkin, J. (2003) Phytoextraction of nickel and cobalt by hyperaccumulator *Alyssum* species grown on nickel-contaminated soils. *Environmental Science & Technology*. v.37, n.7, p.1463-1468.
- Longo, R. M.; Melo, W. J. de (2005) Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.651-657.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. de. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 319 p.
- Malavolta, E.; Leão, H. C. de; Oliveira, S. C. de; Lavres Junior, J.; Moraes, M. F. de; Cabral, C. P.; Malavolta, M. (2006) Repartição de nutrientes nas flores, folhas e ramos da laranjeira cultivar natal. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, n.3, p. 506-511.
- 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.; Moraes, M. F. (2007) Níquel - de tóxico a essencial. *Informações Agronômicas*. n.118.

Maldonado, C. A. B. (2005) *Biossólido na implantação da cultura da pupunheira: efeitos na precocidade, na produção e nos teores de nutrientes e metais pesados do palmito*. 89f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. (2006) Instrução Normativa Nº 27, de 5 de Junho de 2006. <[ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpseesp/bibliote/informe\\_eletronico/2006/iels.julho.06/iels124/U\\_IN-MAPA-SDA-27\\_050606.pdf](ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpseesp/bibliote/informe_eletronico/2006/iels.julho.06/iels124/U_IN-MAPA-SDA-27_050606.pdf)>. Acesso em 14 de agosto de 2009.

Marenco, R. A.; Coelho Netto, R. A. (1994) Metabolismo de ureídeos em plantas superiores. *Pesquisa em Foco*, v.3, n.3, p.21-40.

Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego: Academic Press, 889 p.

Mascarenhas, H. A. A.; Tanaka, R. T.; Carmelo, Q. A. C.; Gallo, P. B.; Ambrosano, G.M.B. (2000) Calcário e potássio para a cultura de soja. *Scientia Agricola*, v.57, n.3, p.445-449.

Mattiazzo-Prezotto, M. E. (1994) *Comportamento de cobre, cádmio, crômio, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH*. Piracicaba, 197f. Tese (Livre docência) Escola Superior Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Mérigout, P.; Lelandais, M.; Bitton, F.; Renou, J. P.; Briand, X.; Meyer, C.; Daniel-Vedele, F. (2008) Physiological and transcriptomic aspects of urea uptake and assimilation in Arabidopsis plants. *Plant Physiology*, v. 147, p. 1225–1238.

- Mishra, D.; Kar, M. (1974) Nickel in plant growth and metabolism. *Botanical Review*, v.40, n.4, p.395-452.
- Nakagaki, S.; Friedermann, G. R.; Caiut, J. M. A. (2006) Metil coenzima M redutase (MCR) e o fator 430 (F430). *Química Nova*, v.29, n.5, p.1003-1008.
- Neves, O. S. C.; Ferreira, E. V. O.; Carvalho, J. G.; Soares, C. R. F. S. (2007) Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.3, p.485-490.
- Niethammer, A. (1931) The influence of heavy metal compounds on plant cells. *Protoplasma*, v. 12, p. 554-558.
- Oliveira, T. C. de. (2009) *Atividade da urease e crescimento de alface no solo em resposta a níquel*. 50f. Dissertação (Mestrado - Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Paiva, H. N. (2000) *Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de cedro (Cedrela fissilis Vell.) e ipê roxo (Tabebuia impetiginosa (Mart.) Standl.)*. 283f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Paiva, H. N., Carvalho, J. G., Siqueira, J. O. (2002) Teor de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de níquel, em solução nutritiva. *Revista Árvore*, v.26, n.3, p.279-284.
- Paiva, H. N. de; Carvalho, J. G. de; Siqueira, J. O.; Fernandes, A. R.; Miranda, J. R. P. de. (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.
- Palacios, G.; Gómez, I.; Carbonell-Barrachina, A.; Navarro Pedreño, J.; Mataix, J. (1998) Effect of nickel concentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. *Journal of Plant Nutrition*, v.21, p.2179-2191.



- Palacios, G.; Mataix, J. (1999) The influence of organic amendment and nickel pollution on tomato fruit yield and quality. *Journal of Environmental Science and Health part B pesticides food contaminants and Agricultural Wastes*, v.34, p.133-150.
- Pandey, N.; Sharma, C. P. (2002) Effect of heavy metals  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$  on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*, v.163, p.753-758.
- Piccini, D. F. (1990) *Toxidez do níquel em arroz e feijão*. 144f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- Piccini, D. F.; Malavolta, E. (1992) Toxicidade de níquel em arroz e feijão em solos ácidos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p. 229-233.
- Polacco, J. C. (1977) Nitrogen metabolism in soybean tissue culture. II Urea utilization and urea synthesis require  $\text{Ni}^{2+}$ . *Plant Physiology*, v.59, p.827-830.
- Polacco, J. C.; Krueger, R. W.; Winter, R. G. (1985) Structure and possible ureide degrading function of the ubiquitous urease of soybean. *Plant Physiology*, v.79, n.3, p. 794-800.
- Pombo, L.; Salgado, V.; Volkweiss, S.; Klamt, E. (1989) Adsorção de níquel por dois solos: Terra bruna estruturada similar e Podzólico Vermelho-Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.24, n.5, p.593-598.
- Quiles, F. A.; Raso, M. J.; Pineda, M.; Piedras, P. (2009) Ureide metabolism during seedling development in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Physiologia Plantarum*, v.135, p.19-28.
- Rabie, M. H.; Abdel Latif, E. A.; Asy, K. G.; Eleiwa, M. E. (1992) The effect of nickel on plants. III. The effect of foliar nickel on yield and elemental content of some crops. *Journal King Abdulaziz University Science*, v.4, p.15-21.

- Raven, P. D.; Evert, R. E.; Eichhorn, E. E. (2001) *Biologia vegetal*. 6.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan. 906p.
- Reis, T. C. (2002) *Distribuição e Biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCl<sub>2</sub> e biossólido*. 105f. Tese (Doutorado) - Escola Superior as Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, Universidade de São Paulo.
- Rodella, A. A. (2005) Legislação sobre teores de contaminantes em fertilizantes - estudo de um caso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.797-801.
- Rosolem, C. A.; Marubayashi, O. M. (1994) Seja o doutor do seu feijoeiro. *Informe Agrônomo*, v.68, p.1-16.
- Seregin, I. V.; Kozhevnikova, A. D. (2006) Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, v.53, n.2, p.257-277.
- Silva, C. S. da (2001) *Níquel. Balanço Mineral Brasileiro*. Departamento Nacional de Produção Mineral. 18p.
- Silva, F.C. (2002) *Eficiência de uso de nitrogênio por seis cultivares de milho*. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- Silva, J. A. L. (2006) Sistemas ferro-enxofre - das geociências às biociências. *Química*, n.102, p.33-38.
- Sirko, A. Brodzik, R. (2000) Plant ureases: Roles and regulation. *Acta Biochimica Polonica*, v.47, n.4, p.1189-1195.
- Souza, E. S. de (2003) *Método de escoamento superficial no solo: quantificação e biodisponibilidade de metais no efluente, percolado, solo e planta*. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- Tabatabaei, S. J. (2009) Supplements of nickel affect yield, quality, and nitrogen metabolism when urea or nitrate is the sole nitrogen source for cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, v.32, n.5 may, p.713-724.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p.
- Tan, X. W.; Ikeda, H.; Oda, M. (2000) Effects of nickel concentration in the nutrient solution on the nitrogen assimilation and growth of tomato seedlings in hydroponic culture supplied with urea or nitrate as the sole nitrogen source. *Scientia Horticulturae*, v.84, p.265-273.
- Teixeira, S. T.; Melo, W. J.; Silva, E. T. (2005) Heavy metals in a degraded soil treated with sludge from water treatment plant. *Scientia Agricola*, v.62, p.498-501.
- Teruel, D. A.; Dourado-Neto, D.; Hopmans, J. W.; Reichardt, K. (2001) Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. *Scientia Agricola*, v.58, n.1, p.55-60.
- Thomas, A. L.; Sodek, L. (2006) Amino acid and ureide transport in the xylem of symbiotic soybean plants during short-term flooding of the root system in the presence of different sources of nitrogen. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.18, n.2, p.333-339.
- Vance, C. P., Heichel, G. H., Phillips, D. A. (1988) Nodulation and symbiotic dinitrogen fixation. In: Hanson, A. A., Barnes, D. K., Hill, R. R. Alfalfa and alfalfa improvement. Madison: *American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America*, p.229-257.
- Vanselow, A. P. (1951) Microelement research with citrus. *California Citrograph*. v.37, n.2, p.77-80.
- Vidal-Torrado, P.; Macias, F.; Calvo, R.; Carvalho, S. G. de; Silva, A. C. (2006) Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentizadas no

sudoeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.523-541.

Vieira, N. M. B. *Crescimento e marcha de absorção de nutrientes no feijoeiro cvs. BRS-MG Talismã e Ouro Negro, em plantio direto e convencional*. 2006. 145 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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*, v.79, p.474-479.

Wallace, A.; Romney, E. M.; Cha, J. W. (1977a) Nickel-iron interaction in bush beans. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.8, n.9, p.787-790.

Wallace, A.; Cha, J. W.; Chaudhry, F. M.; Kinnear; Romney, E.M. (1977b) Tolerance of rice plants to trace metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.8, n.9, p.809-817.

Witte, C. P.; Tiller, S. A.; Taylor, M. A.; Davies. H. V. (2002) Leaf urea metabolism in potato. Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of <sup>15</sup>N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. *Plant Physiology*, v.128, p.1129-1136.

Wood, B. W.; Reilly, C. C.; Nyczepir, A. P. (2004a) Mouse-ear of pecan: I. Symptomatology and occurrence. *Hortscience*, v.39, n.1, p.87-94.

Wood, B. W.; Reilly, C. C.; Nyczepir, A. P. (2004b) Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. *Hortscience*, v.39, n.1, p.95-100.

Wood, B. W.; Reilly, C. C.; Nyczepir, A. P. (2004c) Mouse-ear of pecan: A nickel deficiency. *Hortscience*, v.39, n.1, p.1238-1242.

- Wood, B. (2007) O níquel na nutrição mineral e na defesa das plantas contra doenças. *Informações Agronômicas*, n.119, p.8-11.
- Yang, X.; Baligar, V. C.; Martens, D. C.; Clark, R. B. (1996) Plant tolerance to nickel toxicity: II. Nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. *Journal of Plant Nutrition*, v.19, n.2, p.265-279.
- Yu, J. W.; Woo, K. C. (1999) Correlation between the development of photorespiration and the change in activities of  $\text{NH}_3$  assimilation enzymes in greening oat leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.18, p.583-588.
- Zeitouni, C. F. (2003) *Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico*. 91f. Dissertação (Mestrado - Gestão de Recursos Agroambientais.) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A

**QUADRO 1A.** Resumo da análise de variância dos teores de uréia e N no tecido foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar e tempos de coleta em horas (1,5; 4; 10; 24 e 48) após a aplicação de uréia via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F	
		Uréia	N
Bloco	3	0,58 <sup>ns</sup>	1,89 <sup>ns</sup>
Hora (H)	4	102*	14,3*
Solo (S)	1	413*	176*
Dose (D)	4	11,9*	2,86*
H x S	4	11,2*	2,20*
H x D	16	0,39 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>
S x D	4	3,60*	0,67 <sup>ns</sup>
H x S x D	16	1,45 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
Resíduo	147	-	-
Média	-	----- g kg <sup>-1</sup> -----	
	-	10,4	46,3
CV (%)	-	17,1	8,7

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.



**QUADRO 2A.** Resumo da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do ramo (MSR), massa seca da folha (MSF) e dos teores de P; K, Ca; Mg e S no tecido foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F							
		MSPA	MSR	MSF	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	4,91*	5,58*	3,71*	2,47 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	5,47*	1,97 <sup>ns</sup>	4,54*
Solo (S)	1	0,19 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	46,0*	155*	0,02 <sup>ns</sup>	18,7*	0,07 <sup>ns</sup>
Dose (D)	4	1,67 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	1,72 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	2,82*
S x D	4	1,27 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	1,26 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	1,65 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- g -----			----- g kg <sup>-1</sup> -----				
		2,94	1,23	1,71	3,37	26,0	15,7	6,39	1,47
CV (%)	-	17,2	20,4	17,4	12,4	10,2	9,80	9,29	17,4

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 3A.** Resumo da análise de variância dos teores de micronutrientes no tecido foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F						
		B	Cl	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni
Bloco	3	1,37 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	4,13*	0,43 <sup>ns</sup>	3,39*	1,16 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	152*	771*	48,4*	13,5*	1,29 <sup>ns</sup>	12,8*	23,0*
Dose (D)	4	0,87 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	2,35 <sup>ns</sup>	6,87*	0,36 <sup>ns</sup>	67,4*
S x D	4	0,45 <sup>ns</sup>	2,19 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	3,68*	3,09*	0,79 <sup>ns</sup>	3,04*
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
	-	47,9	11,3	8,83	20,8	11,1	51,4	17,5
CV (%)	-	10,3	18,6	18,1	11,9	16,7	17,9	23,8

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 4A.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de uréia e macronutrientes no tecido foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F						
		Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	1,42 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	3,11*	1,03 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	45,4*	13,6*	24,1*	58,3*	0,15 <sup>ns</sup>	7,79*	0,00 <sup>ns</sup>
Dose (D)	4	1,78 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	1,72 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,55 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
		----- mg -----						
Média	-	9,92	73,0	5,67	44,5	27,1	11,0	2,46
CV (%)	-	23,7	14,0	17,5	17,5	19,6	12,9	20,7

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 5A.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de micronutrientes no tecido foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F						
		B	Cl	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni
Bloco	3	1,32 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	141*	440*	23,9*	72,5*	15,7*	20,6*	12,2*
Dose (D)	4	3,27*	0,24 <sup>ns</sup>	1,97 <sup>ns</sup>	43,9*	6,38*	2,65*	43,0*
S x D	4	0,66 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	21,2*	1,10 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
----- µg -----								
Média	-	83,3	19,4	14,8	37,1	18,5	85,4	30,8
CV (%)	-	11,9	24,6	24,1	4,81	13,2	19,8	32,3

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

## APÊNDICE B

**QUADRO 1B.** Resumo da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSF), massa seca das vagens (MSV), massa seca das raízes (MSRZ), massa seca dos nódulos (MSN) e número de nódulos (NN) do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F							
		MSPA	MSR	MSF	MSV	MSRZ	MSN	NN	
Bloco	3	4,02*	3,29*	4,31*	2,48 <sup>ns</sup>	3,51*	3,13*	1,41 <sup>ns</sup>	
Solo (S)	1	63,0*	75,8*	51,6*	10,1*	5,82*	9,52*	7,04*	
Dose (D)	4	1,57 <sup>ns</sup>	2,29 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	2,05 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	1,90 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	
S x D	4	0,73 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	
Média	-	----- g -----							-
	-	19,2	7,67	11,5	3,10	4,62	0,28	121	
CV (%)	-	20,7	20,6	21,4	36,1	21,9	52,6	59,6	

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 2B.** Resumo da análise de variância dos teores de nitrogênio (N), uréia, fósforo (P) e Potássio (K) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F											
		N (FM)	N (FJ)	N (R)	Uréia (FM)	Uréia (FJ)	Uréia (R)	P (FM)	P (FJ)	P (R)	K (FM)	K (FJ)	K (R)
Bloco	3	6,03*	2,38 <sup>ns</sup>	4,27*	8,18*	4,12*	3,96 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	1,88 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	4,50*	3,20 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	116*	96,6*	155*
Dose (D)	4	0,76 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	3,09*	0,10 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>	2,35 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,61 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	2,35 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- g kg <sup>-1</sup> -----											
	-	30,6	32,9	10,7	5,76	3,06	1,22	1,41	2,47	1,34	23,7	21,2	10,6
CV (%)	-	12,5	12,9	22,8	44,2	35,6	37,2	22,2	20,2	15,3	13,1	14,4	12,3

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 3B.** Resumo da análise de variância dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F								
		Ca (FM)	Ca (FJ)	Ca (R)	Mg (FM)	Mg (FJ)	Mg (R)	S (FM)	S (FJ)	S (R)
Bloco	3	0,99 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	4,70*	1,64 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	2,99*	5,79*	1,13 <sup>ns</sup>	4,86*
Solo (S)	1	17,7*	1,52 <sup>ns</sup>	7,24*	2,91 <sup>ns</sup>	2,01 <sup>ns</sup>	12,7*	4,82*	0,48 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
Dose (D)	4	0,43 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,65 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	3,49*	1,65 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- g kg <sup>-1</sup> -----								
	-	16,5	11,8	6,12	5,27	4,43	2,59	1,12	1,24	0,52
CV (%)	-	19,3	19,1	14,2	14,7	15,5	14,9	11,1	15,1	34,2

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.



**QUADRO 4B.** Resumo da análise de variância dos teores de boro (B), zinco (Zn) e manganês (Mn) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F								
		B (FM)	B (FJ)	B (R)	Zn (FM)	Zn (FJ)	Zn (R)	Mn (FM)	Mn (FJ)	Mn (R)
Bloco	3	2,58 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	5,99*	0,12 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	3,32*	3,23*	1,87 <sup>ns</sup>	2,82 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	21,9*	65,2*	9,00*	9,73*	3,38 <sup>ns</sup>	21,4*	2,99 <sup>ns</sup>	4,41*	8,35*
Dose (D)	4	0,29 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>
S x D	4	1,23 <sup>ns</sup>	2,73*	0,45 <sup>ns</sup>	2,05 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
	-	50,5	47,6	17,3	57,1	62,9	34,0	155	152	33,8
CV (%)	-	17,2	13,9	9,78	29,8	40,9	37,8	34,4	28,9	53,7

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 5B.** Resumo da análise de variância dos teores de ferro (Fe) e cobre (Cu) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F					
		Fe (FM)	Fe (FJ)	Fe (R)	Cu (FM)	Cu (FJ)	Cu (R)
Bloco	3	4,76*	3,91*	0,99 <sup>ns</sup>	3,55*	1,49 <sup>ns</sup>	8,33*
Solo (S)	1	2,17 <sup>ns</sup>	2,99 <sup>ns</sup>	1,87 <sup>ns</sup>	3,29 <sup>ns</sup>	48,2 <sup>ns</sup>	20,9*
Dose (D)	4	0,48 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	2,77*
S x D	4	0,69 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
	-	275	176	42,4	5,51	6,01	3,07
CV (%)	-	21,8	20,6	21,8	24,5	14,7	19,8

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 6B.** Resumo da análise de variância dos teores de níquel (Ni) e molibdênio (Mo) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ), ramos (R) e vagens (V) do feijoeiro comum cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F							
		Ni (FM)	Ni (FJ)	Ni (R)	Ni (V)	Mo (FM)	Mo (FJ)	Mo (R)	Mo (V)
Bloco	3	2,69 <sup>ns</sup>	2,84 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	2,58 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	4,42*
Solo (S)	1	20,5*	32,6*	13,8*	36,2*	10,1*	7,55*	114*	32,4*
Dose (D)	4	70,4*	10,8*	14,9*	5,41*	2,03 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	4,12*	1,46 <sup>ns</sup>
S x D	4	11,7*	4,42*	1,24 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	3,73*	1,16 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
		2,07	0,77	0,86	1,87	0,29	0,34	1,55	0,38
CV (%)	-	23,5	31,5	32,5	38,0	56,2	48,6	33,5	23,0

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 7B.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de nitrogênio (N), uréia, fósforo (P) e Potássio (K) em folhas (F) e ramos (R) de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F							
		Uréia (F)	Uréia (R)	N (F)	N (R)	P (F)	P (R)	K (F)	K (R)
Bloco	3	0,84 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	2,18 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	15,9*	40,7*	37,1*	69,3*	27,6*	40,7*	95,5*	167,5*
Dose (D)	4	0,62 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,47 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg -----							
	-	44,17	8,98	362	79,3	23,6	8,98	266	86,9
CV (%)	-	35,8	33,7	28,4	23,1	34,8	33,7	28,2	23,5

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 8B.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em folhas (F) e ramos (R) de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F					
		Ca (F)	Ca (R)	Mg (F)	Mg (R)	S (F)	S (R)
Bloco	3	1,18 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	1,92 <sup>ns</sup>	3,35*	2,58 <sup>ns</sup>	4,79*
Solo (S)	1	41,1*	92,5*	27,3*	22,7*	27,56*	22,4*
Dose (D)	4	0,70 <sup>ns</sup>	2,54 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,80 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg -----					
	-	159	47,4	53,8	19,6	13,6	3,79
CV (%)	-	29,6	21,3	29,1	26,0	29,9	35,7

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 9B.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de boro (B), zinco (Zn) e manganês (Mn) em folhas (F) e ramos (R) do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F									
		B (F)	B (R)	Zn (F)	Zn (R)	Mn (F)	Mn (R)	Fe (F)	Fe (R)	Cu (F)	Cu (R)
Bloco	3	1,41 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	2,35 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	2,50 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	92,2*	73,6*	21,2*	36,9*	22,1*	5,88*	40,4*	4,55*	51,9*	79,8*
Dose (D)	4	0,60 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	2,51 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,98 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	2,08 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- µg -----									
		0,57	0,13	0,27	0,28	1,64	0,22	2,53	0,46	0,05	0,02
CV (%)	-	25,7	23,7	44,1	53,7	26,6	30,0	31,4	161,7	29,9	29,8

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 10B.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de níquel (Ni) e molibdênio (Mo) em folhas (F), ramos (R) e vagens (V) de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F					
		Ni (F)	Ni (R)	Ni (V)	Mo (F)	Mo (R)	Mo (V)
Bloco	3	2,25 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>	1,57 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	21,1*	9,22*	8,00*	1,99 <sup>ns</sup>	34,4*	0,01 <sup>ns</sup>
Dose (D)	4	20,8*	11,3*	5,37*	1,18 <sup>ns</sup>	3,62*	4,44*
S x D	4	6,20 <sup>ns</sup>	2,98*	0,71 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	3,47 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-
Média	-	14,34	6,04	5,20	3,26	9,95	1,13
CV (%)	-	33,0	31,4	30,0	32,3	38,5	42,9

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**APÊNDICE C**



**QUADRO 1C.** Resumo da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSF), massa seca das vagens (MSV), massa seca das raízes (MSRZ), massa seca dos nódulos (MSN) e número de nódulos (NN) do feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F							
		MSPA	MSR	MSF	MSV	MSRZ	MSN	NN	
Bloco	3	2,49 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	2,08 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	
Solo (S)	1	222*	195*	57,6*	64,7*	14,5*	44,3*	75,7*	
Dose (D)	4	0,10 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	
S x D	4	1,95 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	
Média	-	----- g -----							-
	-	37,9	20,0	17,9	1,71	3,28	0,83	244	
CV (%)	-	11,7	16,4	14,9	59,9	18,9	16,8	25,5	

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 2C.** Resumo da análise de variância dos teores de nitrogênio (N), uréia, fósforo (P) e Potássio (K) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F											
		N (FM)	N (FJ)	N (R)	Uréia (FM)	Uréia (FJ)	Uréia (R)	P (FM)	P (FJ)	P (R)	K (FM)	K (FJ)	K (R)
Bloco	3	1,69 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	3,41*	0,60 <sup>ns</sup>	3,93*	0,99 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	3,48 <sup>ns</sup>	15,9*	0,18 <sup>ns</sup>	11,1*	0,24 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	5,55*	12,5*	0,55 <sup>ns</sup>	152*	39,8*	95,5*
Dose (D)	4	0,20 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
S x D	4	1,16 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- g kg <sup>-1</sup> -----											
	-	25,1	34,9	11,3	0,64	0,91	1,22	1,39	2,02	1,03	17,4	17,7	10,1
CV (%)	-	11,2	12,8	38,0	23,4	35,5	17,4	17,2	18,7	13,1	19,0	14,3	10,7

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 3C.** Resumo da análise de variância dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F								
		Ca (FM)	Ca (FJ)	Ca (R)	Mg (FM)	Mg (FJ)	Mg (R)	S (FM)	S (FJ)	S (R)
Bloco	3	2,28 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	5,09*	1,03 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	0,31 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	2,09 <sup>ns</sup>	84,2*	142*	8,71*	3,71 <sup>ns</sup>	15,3*	11,8*
Dose (D)	4	0,89 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
S x D	4	1,22 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- g kg <sup>-1</sup> -----								
	-	18,3	14,5	10,7	3,81	3,94	2,28	0,85	0,87	0,24
CV (%)	-	7,46	11,4	10,4	14,9	13,4	9,24	12,6	18,7	39,0

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 4C.** Resumo da análise de variância dos teores de boro (B), zinco (Zn) e manganês (Mn) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F								
		B (FM)	B (FJ)	B (R)	Zn (FM)	Zn (FJ)	Zn (R)	Mn (FM)	Mn (FJ)	Mn (R)
Bloco	3	2,04 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	4,81*	0,55 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	2,06 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	85,0*	112*	4,89*	14,8*	0,38 <sup>ns</sup>	7,22*	0,01 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
Dose (D)	4	0,14 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,76 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	6,06 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
	-	44,9	31,1	15,5	53,3	60,7	31,3	220	264	43,6
CV (%)	-	18,5	16,7	8,59	24,3	41,1	25,7	19,4	32,4	32,0

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 5C.** Resumo da análise de variância dos teores de ferro (Fe) e cobre (Cu) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F					
		Fe (FM)	Fe (FJ)	Fe (R)	Cu (FM)	Cu (FJ)	Cu (R)
Bloco	3	0,66 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	1,52 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	34,5*	0,09 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
Dose (D)	4	0,53 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	2,30 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,22 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	2,47 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-
Média	-	210	187	46,9	5,08	8,32	5,02
CV (%)	-	41,2	58,4	77,3	22,1	44,5	71,3

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 6C.** Resumo da análise de variância dos teores de níquel (Ni) e molibdênio (Mo) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ), ramos (R) e vagens (V) do feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F							
		Ni (FM)	Ni (FJ)	Ni (R)	Ni (V)	Mo (FM)	Mo (FJ)	Mo (R)	Mo (V)
Bloco	3	0,93 <sup>ns</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	8,16*	0,49 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	0,56 <sup>ns</sup>	66,4*	41,9*	11,1*	5,67*	50,5*	328*	4,62*
Dose (D)	4	102*	10,6*	44,2*	11,2*	3,56*	0,39 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,76 <sup>ns</sup>	5,04*	2,67 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
	-	1,60	0,43	0,66	1,76	0,23	0,46	0,55	0,50
CV (%)	-	24,0	24,8	18,5	24,5	13,9	15,6	23,1	116

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 7C.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de nitrogênio (N), uréia, fósforo (P) e Potássio (K) em folhas (F) e ramos (R) de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F							
		Uréia (F)	Uréia (R)	N (F)	N (R)	P (F)	P (R)	K (F)	K (R)
Bloco	3	0,92 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	1,90 <sup>ns</sup>	2,97 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	2,06 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	54,0*	65,1*	43,0*	20,5*	86,7*	343*	578*	703*
Dose (D)	4	0,24 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,33 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- mg -----							
	-	53,7	25,6	1302	235	81,4	21,2	872	220
CV (%)	-	22,9	26,4	16,9	46,5	12,6	10,4	11,2	10,8

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 8C.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em folhas (F) e ramos (R) de feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni) aplicadas via foliar. Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F					
		Ca (F)	Ca (R)	Mg (F)	Mg (R)	S (F)	S (R)
Bloco	3	0,42	1,59	0,43	3,04	0,93	3,05
Solo (S)	1	93,5	178	1,58	162	14,1	4,89
Dose (D)	4	0,33	0,75	0,25	0,28	0,88	0,71
S x D	4	0,24	0,57	0,18	0,09	0,01	1,01
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-
Média	-	805	219	178	46,6	34,7	4,49
CV (%)	-	13,7	13,8	14,3	13,6	15,1	28,0

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.



**QUADRO 9C.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de boro (B), zinco (Zn) e manganês (Mn) em folhas maduras (FM), folhas jovens (FJ) e ramos (R) do feijoeiro caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F									
		B (F)	B (R)	Zn (F)	Zn (R)	Mn (F)	Mn (R)	Fe (F)	Fe (R)	Cu (F)	Cu (R)
Bloco	3	2,40	2,71 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	3,25 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	589	384*	69,5*	185*	75,9*	117*	9,35*	6,17*	35,1*	8,12*
Dose (D)	4	0,27	0,61 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>
S x D	4	0,27	0,44 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	----- µg -----									
		1,74	0,32	2,71	0,67	9,44	0,90	7,73	0,92	108	351
CV (%)	-	10,9	11,2	23,4	19,5	20,7	20,7	30,1	48,2	28,8	76,3

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.

**QUADRO 10C.** Resumo da análise de variância dos conteúdos de níquel (Ni) e molibdênio (Mo) em folhas (F) e ramos (R) do feijoeiro caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) cv. IPA 206, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb em função de doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L<sup>-1</sup> de Ni). Campos dos Goytacazes, 2009

F.V.	G.L.	Valores de F			
		Ni (F)	Ni (R)	Mo (F)	Mo (R)
Bloco	3	0,60 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	2,30 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>
Solo (S)	1	37,5*	17,7*	49,4*	328*
Dose (D)	4	112*	40,9*	0,25 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>
S x D	4	3,46*	0,67 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	-	-	-	-
Média	-	52,2	13,05	21,4	8,70
CV (%)	-	16,9	20,2	13,2	16,3

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo.