

DOSES DE NÍQUEL EM FEIJÃO CAUPI CULTIVADO EM DOIS SOLOS¹

MARCELA CAMPANHARO^{2*}; PEDRO HENRIQUE MONNERAT³, MARCELO CURITIBA ESPINDULA⁴; WANDERSON SOUZA RABELLO³

RESUMO: O Ni foi o último micronutriente caracterizado como essencial para as plantas. Sua essencialidade foi demonstrada por ser constituinte da urease, o que o torna extremamente importante para o metabolismo de N. Sendo assim, objetivou-se neste trabalho verificar o crescimento, teores e conteúdos de uréia e nutrientes em feijão 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. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L⁻¹ de Ni) na forma de -NiCl₂.6H₂O, 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 feijão. Esses sintomas foram caracterizados 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 feijão 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.

RATE OF NICKEL IN COWPEA BEAN PLANTS GROWN IN TWO SOILS

ABSTRACT: Ni was the last nutrient characterized like essential for plants. Its essentiality is due to participation as constituent of urease enzyme, which makes it extremely important for the metabolism of N. Thus, the objective of this study was to investigate the growth, content and accumulation of urea and nutrients in cowpea bean plants (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) 'IPA 206' according to nickel rate and two 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. Treatments consisted of foliar applications of five nickel concentrations (0, 20, 40, 60 and 100 mg L⁻¹ Ni) in the form of NiCl₂.6H₂O and two soils, a Typic Quartzipsamment and a Tb dystrophic Red-Yellow Ultisol. Ni rates promoted Ni toxicity symptoms just on young leaves of bean. These symptoms were characterized by small reddish spots that have not progressed during the time and did not influence on the plants development. 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 content of others nutrients were not affected by foliar application of Ni. Plants grown in Ultisol showed higher growth and higher content of urea and Cu in mature leaves; K and B in mature leaves, young leaves and twigs and Zn in mature leaves and stem.

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

* Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 16/01/2012; aceito em 10/08/2013

Trabalho extraído da tese de doutorado do primeiro autor.

²Faculdades Integradas Aparício de Carvalho, FIMCA, Rua: Araras n. 241, Jardim Eldorado, 78912-640, Porto Velho-RO; marcelacampanhara@gmail.com

³Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, CCTA, UENF, Av. Alberto Lamego, n. 2000, Parque Califórnia, 28013-602, Campos dos Goytacazes-RJ; phmonnerat@yahoo.com.br; rabellosouza@hotmail.com

⁴EMBRAPA Rondônia. BR 364, Km 5,5, Zona Rural. Caixa Postal 127, 76815-800, Porto Velho-RO; marcelo.espindula@embrapa.br

INTRODUÇÃO

O feijão 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 proteica de origem vegetal. Tem ciclo mais curto que o feijão comum, é mais resistente ao déficit hídrico e, por isso, é considerado uma cultura com alta rusticidade (SILVA et al. 2010). 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). Apesar disso, os níveis de produtividade alcançados, 1.200 kg ha⁻¹, estão aquém dos que poderiam ser realmente obtidos (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

O fato de o feijão 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. Em tomate, concentrações críticas de Ni provocaram necrose nas folhas, redução da massa fresca e acúmulo nos frutos (PALACIOS; MATAIX, 1999).

Em feijão, a elevação da concentração de Ni no solo para 2,3 mg kg⁻¹ foi suficiente para aumentar a concentração desse metal nos grãos acima de 5 mg kg⁻¹ de massa fresca, tornando-os impróprios para o consumo humano (BERTON et al., 2006). A aplicação foliar de níquel em feijoeiro comum em dose de 100 mg L⁻¹ de Ni causou sintomatologia visual de toxidez caracterizada por clorose nas folhas. Os folíolos e/ou folhas maduras apresentaram inicialmente manchas acinzentadas irregulares e aleatórias no limbo, que em estágio mais avançado, coalesceram e necrosaram. Os efeitos foram observados nos tecidos jovens e maduros com predominância e maior intensidade nos tecidos maduros (CAMPANHARO et al., 2010).

O níquel (Ni) é o elemento mais recentemente identificado como essencial para as plantas superiores (BROWN et al., 1987). A sua função 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 (KRAJEWSKA, 2009;

REIS et al. 2011).

A caracterização feita por Dixon et al. (1975) de que o Ni é um componente da enzima urease, presente em muitas espécies de plantas, provocou interesse científico pela pesquisa referente ao seu papel em plantas superiores. Desde então, tem-se obtido respostas de plantas a fertilização com Ni sob condições de campo (WOOD et al., 2004), em casa de vegetação (CAMPANHARO et al., 2013), em soluções nutritivas ou em meios de cultura contendo uréia como fonte de nitrogênio exclusivamente (GERENDÁS; ZHU; SATTELMACHER, 1998; NEVES et al., 2007; BYBORDI; GHEIBI, 2009). Outras enzimas conhecidas como dependente do Ni são: 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 sobre o crescimento e produção das culturas, principalmente de grãos. Dessa forma, objetivou-se, verificar o efeito de doses de níquel no crescimento, teores e conteúdos de uréia e nutrientes em feijão caupi cultivado em diferentes solos.

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, com quatro repetições, sendo cinco doses de níquel (0; 20; 40; 60 e 100 mg L⁻¹ de Ni, aplicados via foliar na forma de cloreto de níquel hexahidratado) e dois solos (Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb). 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 - 0,2m, destorroados e passados em peneira com malha de 6 mm de diâmetro (Tabelas 1 e 2).

Foi utilizado como material propagativo, sementes de feijão caupi 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⁻¹ de Ni. Dez dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste, mantendo-se quatro plantas mais vigorosas em cada vaso.

Vinte e três DAS no estágio de desenvolvimento V₄ (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⁻¹, de modo a simular uma aplicação mecanizada no campo. Foi adicionado a cada solução de níquel o espalhante adesivo Adesil® na proporção de 0,2 mL L⁻¹.

Foram realizadas duas aplicações foliares (38 e 42 DAS) com uréia p.a. (solução contendo 10 g L⁻¹) 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 h, 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

Wiley, 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 (Metodologia adaptada de WALKER et al., 1985; GERENDÁS e SATTELMACHER, 1997; EMBRAPA, 1999; 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 (EMBRAPA, 1999).

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 BaCl₂ e goma arábica. O cloreto foi determinado por titulometria com AgNO₃, 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 h. (EMBRAPA, 1999).

O Mo e o Ni foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com forno de gra-

Tabela 1. Características químicas de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico e de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb.

	pH	CE	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
	H ₂ O 1:2,5	µS	---- mg kg ⁻¹ ----		----- mmol _c kg ⁻¹ -----			
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
	Na	B	Mo	Mn	Zn	Cu	Fe	Ni
	----- mg kg ⁻¹ -----							
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
	S	C	MO	T	t	V	SB	m
	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	--- mmol _c kg ⁻¹ ---		%	mmol _c kg ⁻¹	%
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.

Solos	Areia	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----		
Neossolo	937	20	43
Argissolo	552	68	380

fite 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 h. Após resfriamento, as amostras foram retiradas da mufla, sendo adicionados a cada frasco 2 mL de HNO₃ a 2% e colocados em banho de areia a 180°C até o material secar completamente, em seguida foram adicionados 10 mL de HNO₃ a 0,5%, sendo as amostras agitadas e transferidas para tubos de ensaio de 15 mL e centrifugados a 2800 rpm durante 6 minutos (EMBRAPA, 1999).

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 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 (β_i) e do teste F da regressão, ambos até 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

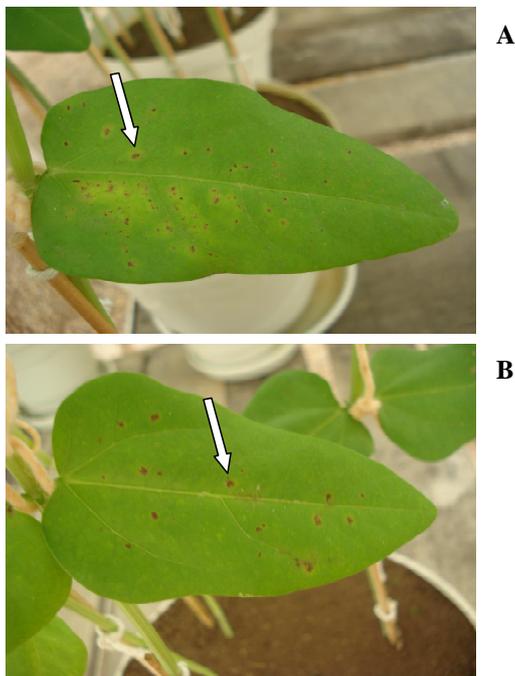


Figura 1. Sintomas de toxidez de níquel em feijão caupi. Manchas bruno avermelhadas em folhas primárias (A e B).

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, o teor de Ni 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 possivelmente decorreu da translocação desse micronutriente das folhas mais velhas. Nesse sentido, a translocação de Ni para as folhas jovens, ramos e vagens foi mais intensa nas plantas crescidas no Neossolo (Figura 2B, C e D).

O conteúdo de Ni em ramos e folhas aumentou linearmente em função das doses de Ni para ambos os solos estudados e foi maior 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 feijão em função das doses de Ni aplicadas.

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), provavelmente em função do maior nível de fertilidade do Argissolo (Tabela 1).

A massa seca de raízes foi maior em plantas cultivadas em Neossolo. A massa seca de nódulos e os números de nódulos foram inferiores em plantas cultivadas nesse solo (Tabela 3). Pelo fato do Neossolo possuir maior quantidade de areia (Tabela 2), isso propiciou melhor condição física para o crescimento das raízes comparado ao Argissolo, mas por outro lado, a menor quantidade de matéria orgânica e a menor quantidade de argila podem também ter refletido em menor capacidade de troca de cátions nesse solo e as plantas apresentaram maior crescimento de raízes para 'compensar' a exploração de nutrientes.

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. Isso indica estratégia adaptativa da planta em direção à maior eficiência de exploração do solo (TERUEL et al., 2001). O Neossolo apresenta textura mais arenosa comparada ao Argissolo (Tabela 2) e com isso possui maior porosidade, o que facilita o crescimento das raízes das plantas cultivadas nesse solo.

Com relação à massa seca e número de nódulos, o menor teor de Ca encontrado no Neossolo pode ter influenciado de forma negativa a infecção das raízes pelos rizóbios e também o crescimento dos

nódulos, corroborando a afirmativa de que o Ca é fator limitante da simbiose entre rizóbio e leguminosa (LOVATO et al., 1985).

O maior número de nódulos e massa seca de nódulos encontrados em plantas cultivadas em Argissolo (Tabela 3), não proporcionaram diferença signifi-

cativa nos teores de N assimilado pelas plantas, comparando-se os dois solos (Tabela 5). Isso está de acordo com Stralotto (2002) que destaca que, ocorrendo a formação de pelo menos 20 nódulos ativos por planta há fornecimento dos teores, quase que totais, de nitrogênio exigidos pela planta.

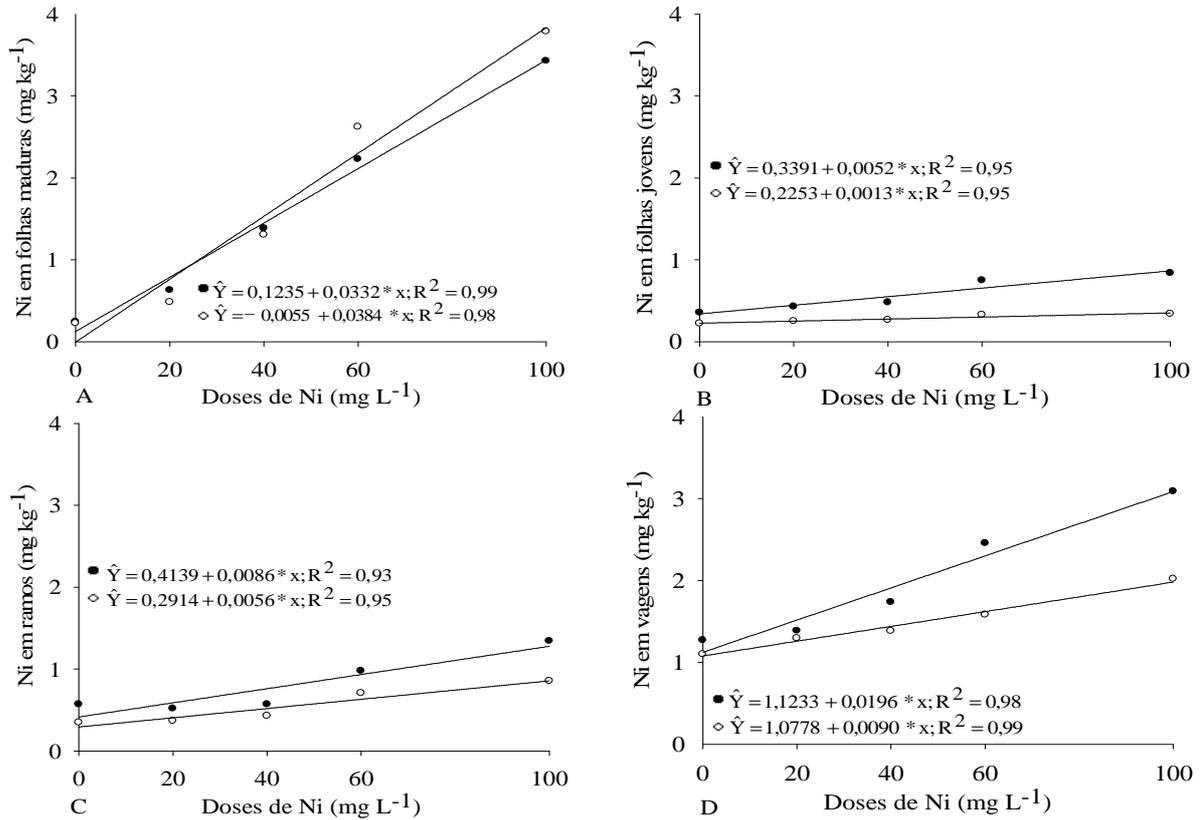


Figura 2. Teor de Ni em folhas maduras (A), (B) folhas jovens, (C) ramos e (D) vagens do feijão caupi cultivado em Neossolo Quartizarênico Órtico típico (●) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (○) em função de doses de níquel.

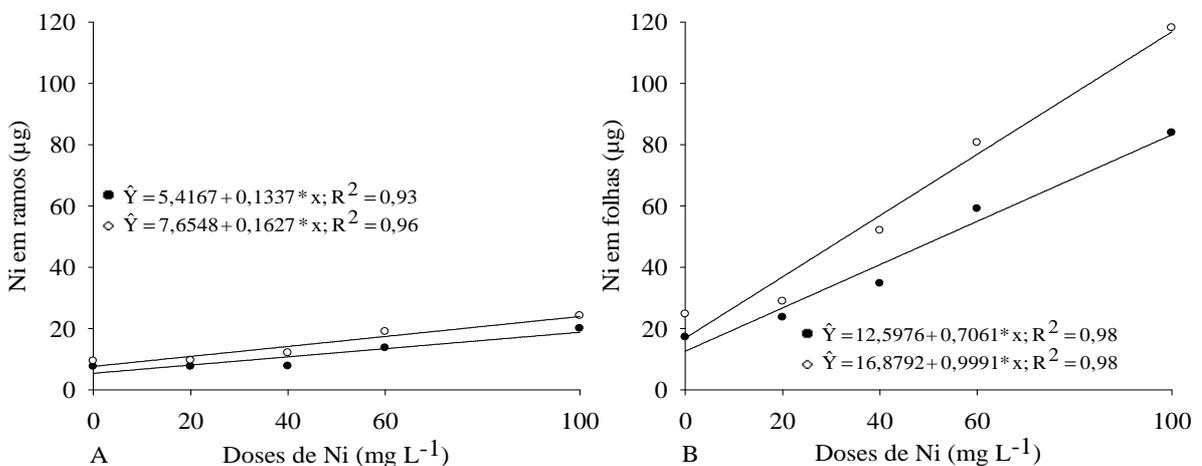


Figura 3. Conteúdo de Ni em ramos (A) e folhas (B) do feijão caupi cultivado em Neossolo Quartizarênico Órtico típico (●) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (○) em função de doses de Ni.

Tabela 3. Valores médios da massa seca e número de nódulos de quatro plantas de feijão caupi cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni).

Solo	Folhas	Ramos	Vagens	Parte	Raízes	Nódulos	N. de Nódulos
				aérea			
(g)							
Neossolo	14,7b	12,8b	0,41 b	27,9b	3,65 a	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; ZHU; SATTELMACHER, 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.

A aplicação de níquel não afetou os teores de macronutrientes e dos demais micronutrientes em folhas e ramos das plantas em ambos os solos.

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 a menor capacidade de suprimento do N 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). Isto pode estar associado a uma maior absorção e assimilação dos referidos nutrientes nesse solo devido à sua maior retenção de água, que possibilita uma maior disponibilidade e consequentemente uma maior absorção desses nutrientes às plantas, diferente do que ocorreu com os tratamentos com o Neossolo. No caso da uréia, que não é um nutriente, a planta absorveu formas de N e acumulou uréia nesses órgãos.

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 maiores teores observados para K, B e Zn possivelmente ocorreram em função da maior quantidade desses elementos no solo (Tabela 1).

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 cultivadas em Argissolo apresentaram maiores teores de K (Tabela 4) provavelmente em razão da maior concentração de K e Ca nos solos (Tabela 1) que competem com o Mg, reduzindo sua absorção.

Tabela 4. Valores médios dos teores de uréia e macronutrientes em folhas maduras, folhas jovens e ramos de quatro plantas de feijão caupi cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni).

Solo	Folhas maduras						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹							
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
Folhas jovens							
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
Ramos							
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 em folhas maduras, folhas jovens e ramos de quatro plantas de feijão caupi cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni).

Solo	Folhas maduras				
	B	Zn	Mn	Fe	Cu
	mg kg ⁻¹				
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
	Folhas jovens				
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
	Ramos				
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 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 6. Valores médios dos teores de molibdênio em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens de quatro plantas de feijão caupi, cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni).

Solo	Teor de molibdênio			
	Folhas maduras	Folhas jovens	Ramos	Vagens
	μg kg ⁻¹			
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.

Tabela 7. Valores médios dos conteúdos de uréia e macronutrientes em folhas e ramos de quatro plantas de feijão caupi cultivadas em Neossolo Quartizarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni).

Solo	Folhas						
	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg						
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
	Ramos						
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 em folhas e ramos de quatro plantas de feijão caupi cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (médias de cinco doses de Ni).

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
	Ramos				
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.

CONCLUSÕES

A aplicação foliar de Ni aumentou os teores deste micronutriente em ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens do feijão caupi.

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.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado à primeira autora.

REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de et al. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 17 - 20, 2002.

BAI, C.; REILLY, C. C.; WOOD, B. W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology**, v. 140, n. 2, p. 433 - 443, 2006.

BERTON, R. S. et al. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 8, p. 1305 - 1312, 2006.

BYBORDI, A.; GHEIBI, M. N. Growth and chlorophyll content of canola plants supplied with urea and ammonium nitrate in response to various nickel levels. **Notulae Scientia Biologicae**, Romania, v. 1, n. 1, p. 53 - 58, 2009.

BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: A Micronutriente Essencial for Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 85, p. 801 - 803, 1987.

CAMPANHARO, M. et al. Toxicity symptoms of nickel in common bean. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 490 - 494, 2010.

CAMPANHARO M. et al. Resposta do feijoeiro 'Princesa' cultivado em Argissolo e Neossolo à aplicação de níquel. **Interciência**, Caracas, v. 38, n. 06, p. 465 - 470, 2013.

CARDOSO, M. J. et al. Avaliação agroeconômica da produção de sementes de caupi sob irrigação. E-MBRAPA/CPAMN, 6 p. **Comunicado Técnico**, Teresina, n. 62, 1995.

DIXON, N. E. et al. 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, 1975.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília. 1999, 370 p.

GERENDÁS, J.; SATTELMACHER, B. 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. 1, p. 153 - 162, 1997.

GERENDÁS, J.; ZHU, Z.; SATTELMACHER, B. Influence of N and Ni supply on nitrogen metabolism and urease activity in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 49, n. 326, p. 1545 - 1554, 1998.

GERENDÁS, J. et al. Significance of nickel for plant growth and metabolism. **Journal of Plant Nutrition of Soil Science**, v. 162, p. 241 - 256, 1999.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1965. 498 p.

- KRAJEWSKA, B. Ureasas I. Functional, catalytic and kinetic properties: **A review. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 59, p. 9 - 21, 2009.
- LOVATO, P. E., PEREIRA, J. C.; VIDOR, C. Flutuação populacional de *Rhizobium phaseoli* em solos com e sem calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 9 - 12, 1985.
- MASCARENHAS, H. A. A. et al. Calcário e potássio para a cultura de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 445 - 449, 2000.
- NAKAGAKI, S.; FRIEDERMANN, G. R.; CAIUT, J. M. A. Metil coenzima M redutase (MCR) e o fator 430 (F₄₃₀). **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 1003 - 1008, 2006.
- NEVES, O. S. C. et al. Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 485 - 490, 2007.
- OLIVEIRA, T. C. de. **Atividade da urease e crescimento de alface no solo em resposta a níquel**. 50 f. Dissertação (Mestrado - Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2009.
- PALACIOS, G.; MATAIX, J. 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**, Philadelphia, v. 34, p. 133 - 150, 1999.
- REIS, A. R. dos et al. Influence of nitrogen fertilization on nickel accumulation and chemical composition of coffee plants during fruit development. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 34, p. 1853 - 866, 2011.
- SILVA, A. J. da et al. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 1, p. 31 - 36, 2010.
- STRALIOTTO, R. **A importância da inoculação com rizóbio na cultura do feijoeiro**. Embrapa, CNPAB. Agrobiologia. Seropédica, RJ. 6 p. 2002. Disponível em: <http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/artigos/fbnl_inocula_feijoeiro.html>. Acesso em: 19 de dezembro de 2013.
- TERUEL, D. A. et al. Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 55 - 60, 2001.
- WALKER, C. D. et al. Effects of nickel deficiency on some nitrogen metabolites in cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Plant Physiology**, v.79, p.474 - 479, 1985.
- WITTE, C. P. et al. Leaf urea metabolism in potato. Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of ¹⁵N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. **Plant Physiology**, v.128, p. 1129 - 1136, 2002.
- WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. **Hortscience**, v. 39, n. 1, p. 95 - 100, 2004.