

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)

Effect of the increasing levels of nickel on the nutrients content and accumulation in ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley) seedlings

Haroldo Nogueira de Paiva  
Janice Guedes de Carvalho  
José Oswaldo Siqueira  
Antônio Rodrigues Fernandes  
José Romilson Paes de Miranda

---

**RESUMO:** Com o objetivo de avaliar os efeitos da toxidez de Ni, mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*. (Mart.) Standley) foram cultivadas em solução nutritiva de Clark. O ensaio foi conduzido em condições de casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. As mudas foram submetidas a doses crescentes de Ni: 0, 42, 84, 169 e 252  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , usando como fonte o nitrato de níquel. Foi adotado um delineamento estatístico de blocos ao acaso, sendo que ao final de 60 dias de exposição ao metal pesado, foram feitas avaliações do teor e do conteúdo de macro e de micronutrientes na matéria seca de raiz, caule, folha, parte aérea e total. Os resultados mostram que, de maneira geral, houve redução no teor de K, Ca, Mg, Mn e Zn e um aumento no teor de P, Cu e Fe, independente da parte da planta analisada, ao passo que o conteúdo de macro e de micronutrientes, de modo geral, sofreu redução.

**PALAVRAS-CHAVE:** Metal pesado, Nutrição de plantas, Espécie florestal nativa, Toxicidade, Tolerância

**ABSTRACT:** With the objective of verifying the effect of nickel application in ipê-roxo seedlings an experiment was installed in greenhouse of Department of the Soil Science of the Federal University of Lavras. The experiment followed a statistical delineation of randomized blocks, where the seedlings were cultivated in Clark's nutrient solution and submitted to the increasing levels of Ni: 0, 42, 84, 169 e 252  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . After 60 days of display to the heavy metal, evaluations were made of macro and micronutrients content and accumulation in the root, stem, leaf, shoot and total dry matter. The results show that, in a general way, there is reduction in the K, Ca, Mg, Mn and Zn content and there is increase in the P, Cu and Fe content, independent of the part of the plant analyzed, while the macro and micronutrients accumulation has reduced.

**KEYWORDS:** Heavy metal, Plant nutrition, Native forest species, Toxicity, Tolerance

## INTRODUÇÃO

O teor normal de Ni na matéria seca de plantas varia de 0,1 a 5 mg kg<sup>-1</sup>, dependendo da espécie, parte da planta, estágio de maturidade na época de amostragem, teor no solo, acidez do solo entre outros fatores (Mitchell, 1945). Em geral, a toxidez de Ni se expressa quando a sua concentração na matéria seca das plantas for maior que 50 mg kg<sup>-1</sup>, com exceção das espécies acumuladoras e hiperacumuladoras (Adriano, 1986).

Plantas crescendo em ambientes contaminados com Ni apresentam uma série de distúrbios nutricionais, sendo muitas vezes os sintomas de toxicidade de Ni confundidos com deficiências ou toxicidade de elementos essenciais.

Em plantas de tomate cultivadas em solução nutritiva contendo de 0 a 510 μmol L<sup>-1</sup> Ni, Palacios et al. (1998) verificaram que o Ni alterou o teor de P, principalmente em raízes e folhas, concluindo que o Ni restringiu a absorção de P pelas raízes. A presença de Ni na solução aumentou a absorção de K. Uma vez que o Ni é absorvido na forma Ni<sup>+2</sup> sua absorção, em altas concentrações, diminuiu significativamente a absorção de outros cátions bivalentes, tais Mg, Fe, Mn, Cu e Zn, sendo que o Mn sofreu a maior restrição (Palacios et al., 1998).

Em aveia, Crooke e Inkson (1955) verificaram que 42,5 μmol L<sup>-1</sup> Ni reduziu a absorção de N, P, K e Mg, enquanto aumentou a absorção de Ca. A absorção de P por segmentos de raiz de milho foi reduzida por 100 μmol L<sup>-1</sup> Ni (Machlackova e Zmrhal, 1984).

Em *Lolium perenne*, a absorção e o conteúdo de Mn e Zn diminuiu para todas as doses de Ni, mostrando que estes elementos são antagonísticos, enquanto a absorção de Fe e de Ni aumentou com as menores doses e diminuiu com as maiores doses (Khalid e Tinsley, 1980).

O ipê-roxo é uma espécie que apresentou boa tolerância quando submetido a ambientes multicontaminados, sendo portanto, uma espécie promissora para a recomposição destes ambientes (Marques, 1996). No entanto, estudos precisam ser feitos para verificar o nível de contaminação por Ni, que esta espécie tolera, sem grandes restrições ao seu desenvolvimento e, principalmente, qual o efeito desta contaminação sobre a nutrição mineral desta planta.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de doses crescentes de níquel, em solução nutritiva, sobre o teor e o conteúdo de macro e micronutrientes, bem como do níquel, em mudas de ipê-roxo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - UFLA, utilizando-se de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley).

As mudas foram produzidas em substrato contendo areia lavada e quando apresentavam altura média de 5 cm ou dois pares de folhas definitivas foram repicadas para bandejas de plástico com capacidade de 35 L, contendo solução nutritiva de Clark (Clark, 1975). A concentração de todos os nutrientes estava reduzida a 30%, com aeração constante. Neste ambiente as mudas permaneceram por 15 dias, quando a solução foi substituída e a concentração de todos os nutrientes foi elevada para 50% da normal.

Ao final de 15 dias, as mudas foram individualizadas em vasos de plástico, com capacidade de 900 mL, contendo solução nutritiva completa, a qual foi trocada a cada 10 dias, permanecendo por 40 dias, ocasião em que se adicionou o níquel, ajustando o pH para 5,5.

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições, sendo cada repetição representada por um vaso com uma planta, perfazendo, assim, um total de 25 plantas.

Os tratamentos consistiram na aplicação de doses crescentes de níquel: 0, 42, 84, 169 e 252  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , usando como fonte o nitrato de níquel  $[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ . Na preparação de todas as soluções estoque dos nutrientes e do níquel, empregaram-se reagentes p.a. A solução nutritiva foi preparada utilizando-se água deionizada e, durante o intervalo de renovação da solução, o volume dos vasos foi completado, sempre que necessário, utilizando-se também água deionizada.

As plantas foram mantidas por 60 dias em exposição ao metal pesado, com renovação da solução nutritiva a cada 10 dias, mantendo-se o pH em 5,5 pela adição de NaOH ou HCl 0,1M. Após este período procedeu-se à colheita das plantas, separando-as em raiz, caule e folhas, que foram lavadas com água destilada e postas a secar em estufa com circulação de ar a 65 °C até peso constante. Determinou-se em balança de precisão (0,01g) o peso de matéria seca, que em seguida foi moída em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 0,38 mm, para ser analisada quimicamente.

Após digestão nítrico-perclórica, os teores de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn e Ni na raiz, no caule e nas folhas, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Os teores de P foram determinados por colorimetria, teores de S por turbidimetria e os de K por fotometria de chama (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

Os conteúdos de P, K, S, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn e Ni, na raiz, no caule, nas folhas e total foram calculados com base nos teores dos elementos e nas produções de matéria seca, das respectivas partes das plantas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e ajustadas equações de regressão entre as doses de níquel aplicadas e o teor e o conteúdo dos diferentes nutrientes analisados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Teor de macronutrientes

A aplicação de doses crescentes de níquel, em solução nutritiva, afetou de forma diferenciada o teor de macronutrientes nas diferentes partes das mudas de ipê-roxo analisadas (Tabela 1). Assim, o teor de P nas raízes e no caule apresentou aumento linear com a aplicação de Ni, ao passo que o teor foliar apresentou resposta quadrática positiva, mostrando que o teor foliar de P diminui até a dose 97  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, aumentando a partir de então. Mesmo neste ponto de mínimo, quando o teor de P alcançou um valor de 1,05 g  $\text{kg}^{-1}$ , não foi baixo o suficiente para promover deficiência deste elemento. Segundo Bergmann (1992), teores de P variando de 1 a 5 g  $\text{kg}^{-1}$  são requeridos para o ótimo crescimento das plantas.

**Tabela 1**

Equações de regressão para os teores de macronutrientes na raiz, caule e folhas de mudas de ipê-roxo, em resposta a doses crescentes de níquel. (Regression equations of macronutrients content in the root, stem and leaves of ipê-roxo seedlings, in response to increasing levels of nickel)

Nutriente	Parte da Planta	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
P	Raiz	$Y = 2,6 + 0,0026^{**}X$	0,72
	Caule	$Y = 1,2 + 0,0033^{**}X$	0,98
	Folha	$Y = 1,2 - 0,0031^{**}X + 0,000016^{**}X^2$	0,64
K	Raiz	$Y = 8,2 - 0,0549^{**}X + 0,000116^{**}X^2$	0,97
	Caule	$Y = 10,6 - 0,0124^{**}X + 0,000102^{**}X^2$	0,90
	Folha	$Y = 19,0$	
S	Raiz	$Y = 2,7$	
	Caule	$Y = 0,8$	
	Folha	$Y = 1,1 + 0,0010^{**}X$	0,95
Ca	Raiz	$Y = 4,2 - 0,0066^{**}X$	0,92
	Caule	$Y = 6,7 + 0,0069^{**}X$	0,96
	Folha	$Y = 12,5 - 0,0220^{**}X + 0,000097^{**}X^2$	0,62
Mg	Raiz	$Y = 0,7 - 0,0010^{**}X$	0,87
	Caule	$Y = 1,9 - 0,0050^{**}X + 0,000014^{**}X^2$	0,80
	Folha	$Y = 2,7$	

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Este aumento no teor radicular e caulinar de P deve-se, provavelmente, ao efeito de concentração, pois de acordo com Paiva, Carvalho e Siqueira (2000) ocorre uma redução na produção de matéria seca em mudas de ipê-roxo cultivadas em soluções nutritivas contaminadas com níquel.

Aumento no teor de P foi observado por outros autores, trabalhando com diferentes espécies de plantas (Huang e Cunningham, 1996; Marques, 1996; Yang et al., 1996a, b; Soares, 1999), embora Kabata-Pendias e Pendias (1984) preconizam que a presença de Ni provoca antagonismo sobre a absorção de P.

Nas mudas de ipê-roxo, a presença de Ni reduziu o teor de K nas raízes e no caule, apresentando resposta quadrática positiva, promovendo redução no teor de K até a dose 236  $\mu\text{mol L}^{-1}$  e 61  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, respectivamente. Nenhum efeito significativo foi observado para o teor de K nas folhas.

Esta redução no teor de K nas raízes possivelmente se deve à inibição competitiva entre o K e os cátions divalentes presentes em altas concentrações (Walker, Miller e Hasset, 1977). A ausência de efeito significativo do Ni sobre o teor foliar de K está de acordo com resultados obtidos por Simon (1998), Lagriffoul et al. (1998) e Soares (1999), em que a concentração de K na parte aérea não foi afetada pelo aumento de doses de Cd, Pb e Zn, também considerados metais pesados, a exemplo do níquel.

Na matéria seca das raízes e de caule não foi observado efeito significativo da presença de Ni sobre o teor de S, ao passo que nas folhas houve um aumento linear. Kabata-Pendias e Pendias (1984) afirmam que a presença de Ni não afeta a taxa de absorção de S, não exercendo qualquer efeito, nem antagonismo e nem sinergismo.

O teor de Ca e Mg foi afetado pelas doses de Ni. Na raiz houve redução linear no teor de Ca e Mg, sendo que esta resposta pode ser devido ao efeito da inibição durante o processo de absorção, pela interação com outros íons. De acordo com Marschner (1995), cátions divalentes como  $\text{Ni}^{+2}$  competem com outros cátions, como o  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , competição esta, muitas vezes, caracterizada como antagonismo (Kabata-Pendias e Pendias, 1984).

No caule das mudas de ipê-roxo o comportamento do teor de Ca foi diferente do apresentado para o Mg. Desta forma o teor de Ca aumentou linearmente com as doses de Ni, ao passo que o teor de Mg apresentou resposta quadrática positiva. Nas folhas, o teor de Ca apresentou resposta quadrática positiva, alcançando um teor mínimo (11 g  $\text{kg}^{-1}$ ) na dose 113  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, enquanto o teor de Mg não foi afetado de forma significativa.

#### Teor de micronutrientes

O teor de Cu, Fe, Mn, Zn e Ni, na matéria seca de raiz, caule e folha, de mudas de ipê-roxo foi significativamente afetado pela aplicação de doses crescentes de Ni, em solução nutritiva, de forma diferenciada com o nutriente e a parte da planta analisada (Tabela 2).

Na raiz, o teor de Cu aumentou linearmente com a presença de Ni, mostrando haver sinergismo. No caule, a presença de Ni fez com que o teor de Cu aumentasse até a dose 164  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, enquanto nas folhas não foi observado efeito significativo do Ni sobre o teor de Cu. Yang et al. (1997) verificaram que o transporte de Cu, das raízes para a parte aérea, diminuiu com doses crescentes de Ni.

O teor de Fe nas raízes das mudas de ipê-roxo aumentou com as doses de Ni. O Ni aparentemente interfere na absorção de Fe, aumentando-a, no entanto, inibe o seu

metabolismo (Agarwala, Bischt e Sharma, 1977) daí o aparecimento do sintoma de deficiência induzida de Fe, observada por Paiva (2000).

No caule das mudas de ipê-roxo houve aumento linear no teor de Fe, enquanto que nas folhas houve resposta quadrática positiva à aplicação de Ni, sendo que esta resposta pode ser devida ao efeito concentração, tendo em vista a redução na produção de matéria seca, conforme observado por Paiva, Carvalho e Siqueira (2000).

**Tabela 2**

Equações de regressão para os teores de micronutrientes e de níquel na raiz, caule e folhas de mudas de ipê-roxo, em resposta a doses crescentes de níquel. (Regression equations of micronutrients and nickel content in the root, stem and leaves of ipê-roxo seedlings, in response to increasing levels of nickel)

Nutriente	Parte da Planta	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
Cu	Raiz	$Y = 49,2 + 0,1066^{**}X$	0,89
	Caule	$Y = 5,1 + 0,0533^{**}X - 0,000162^{**}X^2$	0,83
	Folha	$Y = 3,4$	
Fe	Raiz	$Y = 788 + 3,8683^{**}X - 0,009889^{**}X^2$	0,86
	Caule	$Y = 56,7 + 0,2761^{**}X$	0,95
	Folha	$Y = 231 - 1,2504^{**}X + 0,003661^{**}X^2$	0,79
Mn	Raiz	$Y = 59,2$	
	Caule	$Y = 24,9 + 0,0254^{**}X$	0,80
	Folha	$Y = 143 - 0,7253^{**}X + 0,002418^{**}X^2$	0,76
Zn	Raiz	$Y = 71 - 0,0684^{**}X$	0,75
	Caule	$Y = 60 + 0,0901^{**}X$	0,89
	Folha	$Y = 58$	
Ni	Raiz	$Y = 82 + 6,1516^{**}X - 0,016113^{**}X^2$	0,87
	Caule	$Y = 26,9 + 1,0083^{**}X$	0,94
	Folha	$Y = 6,4 + 0,4896^{**}X - 0,001444^{**}X^2$	0,91

\*\* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

A aplicação de doses crescentes de Ni não afetou de forma significativa o teor radicular de Mn, embora Yang et al. (1996a) tenham observado redução na absorção deste nutriente na presença de Ni e Kabata-Pendias e Pendias (1984) preconizam haver antagonismo entre Mn e Ni, em termos de absorção.

O teor de Mn no caule das mudas de ipê-roxo aumentou de forma linear, ao passo que o teor foliar apresentou resposta quadrática posi-

tiva, sendo que o menor teor foi observado com a aplicação de 150  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, alcançando 86,1 mg  $\text{kg}^{-1}$ , correspondendo a 62% do tratamento controle (sem aplicação de Ni).

A aplicação de Ni fez com que o teor radicular de Zn reduzisse de forma linear. De acordo com Kabata-Pendias e Pendias (1984), metais como o Ni podem ser antagônicos ao Zn. Em *Trifolium repens*, a absorção de Zn diminuiu 80 %, em relação ao controle, com a aplicação de 60  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, em solução nutritiva (Yang et al., 1996a). Redução no teor radicular de Zn, em plantas submetidas a doses crescentes de Ni, foi observada em tomate (Palacios et al., 1998). Na matéria seca do caule, o teor de zinco aumentou linearmente com as doses de Ni, enquanto na matéria seca das folhas não foi observado efeito significativo.

O incremento nas doses de Ni, em solução nutritiva, induziu aumento no teor deste metal nas raízes, no caule e nas folhas das mudas de ipê-roxo. O teor de Ni, nas raízes e nas folhas, apresentou resposta quadrática negativa, tendo sido observada resposta linear positiva para o teor de Ni no caule.

Nas raízes das mudas de ipê-roxo, o teor máximo alcançado foi 669,1 mg  $\text{kg}^{-1}$ , na dose 190,9  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, sendo 716% superior ao tratamento controle. Analisando os dados relativos ao teor de Ni nas folhas, verificou-se que o máximo teor (47,9 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) foi alcançado quando da aplicação de 169,5  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni.

A elevação nos teores de Ni no caule e nas folhas mostrou que este elemento é muito móvel nas plantas (Mishra e Kar, 1974), enquanto que o aumento no teor, independentemente da parte da planta, mostra que o Ni foi absorvido proporcionalmente à concentração do mesmo no meio de crescimento. O teor alcançado nas raízes, caule e folhas foi superior ao teor considerado tóxico para muitas plantas, que está na faixa de 10 a 100 mg  $\text{kg}^{-1}$  de matéria seca (Kabata-Pendias e Pendias, 1984)

### Conteúdo de macronutrientes

O conteúdo de P, K, S, Ca e Mg na matéria seca de raiz, caule, folha e total foi afetado significativamente pela aplicação de Ni em solução nutritiva (Tabela 3).

**Tabela 3**

Equações de regressão para o conteúdo de macronutrientes em diferentes partes de mudas de ipê-roxo submetidas a doses crescentes de níquel.

(Regression equations of macronutrients accumulation in the different parts of the ipê-roxo seedlings, in response to increasing levels of nickel)

Nutriente	Parte da Planta	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
P	Raiz	$Y = 6,9 - 0,0612^{**}X + 0,000163^{**}X^2$	0,94
	Caule	$Y = 3,1 - 0,0204^{*}8X + 0,000055^{**}X^2$	0,97
	Folha	$Y = 6,8 - 0,0437^{**}X + 0,000122^{**}X^2$	0,74
	Total	$Y = 16,9 - 0,1255^{**}X + 0,000341^{**}X^2$	0,89
K	Raiz	$Y = 20,0 - 0,2456^{**}X + 0,000674^{**}X^2$	0,93
	Caule	$Y = 26,2 - 0,2045^{**}X + 0,000575^{**}X^2$	0,91
	Folha	$Y = 100,5 - 0,2501^{**}X$	0,87
	Total	$Y = 155,8 - 0,9702^{**}X + 0,002309^{**}X^2$	0,94
S	Raiz	$Y = 6,9 - 0,0639^{**}X + 0,000169^{**}X^2$	0,94
	Caule	$Y = 1,9 - 0,0127^{**}X + 0,000030^{**}X^2$	0,99
	Folha	$Y = 6,7 - 0,0328^{**}X + 0,000076^{**}X^2$	0,88
	Total	$Y = 15,6 - 0,1095^{**}X + 0,000276^{**}X^2$	0,93
Ca	Raiz	$Y = 10,5 - 0,1006^{**}X + 0,000258^{**}X^2$	0,96
	Caule	$Y = 17,7 - 0,1303^{**}X + 0,000344^{**}X^2$	0,92
	Folha	$Y = 69,6 - 0,3792^{**}X + 0,000892^{**}X^2$	0,88
	Total	$Y = 97,9 - 0,6102^{**}X + 0,001495^{**}X^2$	0,91
Mg	Raiz	$Y = 1,8 - 0,0174^{**}X + 0,000045^{**}X^2$	0,95
	Caule	$Y = 3,9 - 0,0308^{**}X + 0,000083^{**}X^2$	0,93
	Folha	$Y = 16,2 - 0,0973^{**}X + 0,000238^{**}X^2$	0,89
	Total	$Y = 22,0 - 0,1456^{**}X + 0,000367^{**}X^2$	0,91

\*\* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

De modo geral, houve resposta quadrática positiva no conteúdo de todos os macronutrientes, exceção para o conteúdo de K na folha, cuja resposta foi linear negativa. Isto demonstra que, há uma redução no conteúdo dos nutrientes até determinada dose do metal pesado aplicado, passando a aumentar a partir de então.

O conteúdo de P apresentou redução até a aplicação de uma dose aproximada de 180  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, independente da parte da planta

analisada. As doses que promoveram os menores conteúdos de K estão em torno de 178  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, para o caule.

Nas diferentes partes das mudas de ipê-roxo, o conteúdo de S reduziu de forma diferenciada. Assim, a dose que proporcionou o menor conteúdo de S na raiz foi de 189  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni.

Cálcio e magnésio, nas mudas de ipê-roxo, apresentaram comportamento semelhante em seu conteúdo na matéria seca de todas as partes das plantas, ou seja, resposta quadrática positiva, alcançando um conteúdo mínimo quando da aplicação de doses em torno de 200  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni, passando a ser crescente a partir de então.

De modo geral, metais pesados como Cd, Ni, Pb e outros, reduzem o conteúdo de nutrientes em diferentes espécies de plantas (Vásquez, Poschenrieder e Barceló, 1989; Huang e Cunningham, 1996; Palacios et al., 1998; Soares, 1999; Paiva, 2000).

### Conteúdo de micronutrientes

A aplicação de doses de Ni afetou, de forma significativa o conteúdo de Cu, Fe, Mn, Zn e Ni na matéria seca de raízes, caule, folhas e total de mudas de ipê-roxo (Tabela 4).

O conteúdo de Cu apresentou redução linear em todas as partes das mudas, exceção feita na matéria seca de raiz, onde a resposta foi quadrática positiva, quando a aplicação de uma dose correspondente a 211,5  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni proporcionou um conteúdo mínimo.

Ferro, manganês e zinco apresentaram respostas semelhantes em seus conteúdos, nas diferentes partes das mudas, sempre acompanhando a tendência de uma resposta quadrática positiva, com um ponto de mínimo variando entre a dose de 162  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni para o conteúdo de Fe no caule das mudas até 205  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Ni para o conteúdo de Zn na matéria seca de raiz.

**Tabela 4**

Equações de regressão para o conteúdo de micronutrientes e de níquel em diferentes partes das mudas de ipê-roxo submetidas a doses crescentes de níquel. (Regression equations of micronutrients and nickel accumulation in the different parts of ipê-roxo seedlings, in response to increasing levels of nickel)

Nutriente	Parte da Planta	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
Cu	Raiz	$Y = 116 - 0,8047^{**}X + 0,001902^{**}X^2$	0,98
	Caule	$Y = 14 - 0,0356^{**}X$	0,86
	Folha	$Y = 18 - 0,0496^{**}X$	0,96
	Total	$Y = 132 - 0,3887^{**}X$	0,86
Fe	Raiz	$Y = 1725 - 5,4178^{**}X$	0,82
	Caule	$Y = 154 - 0,9662^{**}X + 0,002979^{**}X^2$	0,75
	Folha	$Y = 1281 - 10,78^{**}X + 0,028570^{**}X^2$	0,86
	Total	$Y = 3386 - 24,61^{**}X + 0,060768^{**}X^2$	0,93
Mn	Raiz	$Y = 140 - 1,2924^{**}X + 0,003477^{**}X^2$	0,97
	Caule	$Y = 64 - 0,4609^{**}X + 0,001235^{**}X^2$	0,89
	Folha	$Y = 797 - 6,2308^{**}X + 0,016615^{**}X^2$	0,85
	Total	$Y = 1002 - 7,9841^{**}X + 0,021327^{**}X^2$	0,88
Zn	Raiz	$Y = 168 - 1,4339^{**}X + 0,003498^{**}X^2$	0,96
	Caule	$Y = 160 - 1,1450^{**}X + 0,003017^{**}X^2$	0,93
	Folha	$Y = 357 - 2,1945^{**}X + 0,005377^{**}X^2$	0,85
	Total	$Y = 685 - 4,7735^{**}X + 0,011894^{**}X^2$	0,92
Ni	Raiz	$Y = 34 + 114,58^{**}X^{0,5} - 6,3902^{**}X$	0,83
	Caule	$Y = 12 + 2,46^{**}X - 0,0070^{**}X^2$	0,99
	Folha	$Y = 34 + 1,99^{**}X - 0,0071^{**}X^2$	0,81
	Total	$Y = 47 + 169,97^{**}X^{0,5} - 8,7267^{**}X$	0,94

\*\* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Estas reduções no conteúdo de micronutrientes parecem estar mais relacionadas à queda na produção de matéria seca em plantas submetidas a ambientes contaminados por níquel, conforme observado em aroeira do sertão (Carvalho et al., 1999) e em cedro e ipê-roxo (Paiva, Carvalho e Siqueira, 2000), do que propriamente com o teor dos nutrientes, que foi variável com a parte da planta analisada (Tabela 1).

Resposta quadrática negativa ou raiz-quadrática negativa foi observada para o conteúdo de Ni em todas as partes das mudas de ipê-roxo quando da aplicação de doses crescentes deste metal, em solução nutritiva. O conteúdo máximo atingido foi de 547; 228; 173

e 872 mg Ni, significando aumento de 1.527; 1.801; 410 e 1.747 % em relação ao controle, respectivamente na raiz, caule, folha e total. Este comportamento pode ser explicado pelos resultados obtidos para o teor de Ni, em que a resposta foi também quadrática negativa para a raiz e a folha (Tabela 2).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o presente trabalho permitem concluir que:

- ✓ a aplicação de doses crescentes de Ni, em solução nutritiva, promove aumento no teor de P, na raiz e no caule de mudas de ipê-roxo, ao passo que o teor de K, Ca e Mg, de modo geral, apresenta redução. O teor de S é muito pouco afetado pelas doses de Ni;
- ✓ há um aumento no teor de Cu e Fe na matéria seca de raiz e um aumento no teor caulinar de Cu, Fe, Mn e Zn, quando da aplicação de Ni;
- ✓ as mudas de ipê-roxo absorvem quantidades crescentes de Ni, à medida em que se aumentam as doses deste metal em solução nutritiva;
- ✓ conteúdo de macro e de micronutrientes, de modo geral, reduz com a aplicação de Ni;
- ✓ conteúdo de Ni mostra uma tendência de ser crescente até determinada dose, variável com a parte da planta analisada.

## AUTORES

HAROLDO NOGUEIRA DE PAIVA é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. UFV - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: hnpaiva@mail.ufv.br

JANICE GUEDES DE CARVALHO é Professora Titular do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. UFLA - Caixa Postal 37 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: janicegc@ufla.br

JOSÉ OSWALDO SIQUEIRA é Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. UFLA - Caixa Postal 37 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: [siqueira@ufla.br](mailto:siqueira@ufla.br)

ANTÔNIO RODRIGUES FERNANDES é Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal da Amazônia - UFRA - Belém, PA - 66077-530 - E-mail: [arfernan@fcap.br](mailto:arfernan@fcap.br)

JOSÉ ROMILSON PAES DE MIRANDA é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG - Patos, PB - 58700-970 - E-mail: [rpaes@bol.com.br](mailto:rpaes@bol.com.br)

O trabalho faz parte da tese apresentada à Universidade Federal de Lavras pelo primeiro autor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533p.
- AGARWALA, S.C.; BISCHT, S.S.; SHARMA, C.P. Relative effectiveness of certain heavy metal in producing toxicity and symptoms of deficiency in barley. **Canadian journal of botany**, v.55, n.10, p.1299-1307, 1977.
- BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: developments, visual and analytical diagnosis**. New York: Gustav Fischer Verlag Jena, 1992. 741p.
- CARVALHO, R.; PAIVA, H.N.; SILVA, F.P.; CARVALHO, J.G.; MELLONI, R. Toxidez de níquel em aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14, Pucon (Temuco), Chile, 1999. **Resumos expandidos**. Pucon (Temuco): Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1999. CD-ROM.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal of agriculture and food chemistry**, v.23, n.3, p.458-460, 1975.
- CROOKE, W.M.; INKSON, R.H.E. Relation between nickel toxicity and major nutrient supply. **Plant and soil**, v.49, n.1, p.1-15, 1955.
- HUANG, J.W.; CUNNINGHAM, S.D. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. **The new phytologist**, v.134, n.1, p.75-84, 1996.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.
- KHALID, B.Y.; TINSLEY, J. Some effects of nickel toxicity on rye grass. **Plant and soil**, v.55, n.1, p.139-144, 1980.
- LAGRIFFOUL, A.; MOCQUOT, B.; MENCH, M.; VANGRONSVELD, J. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.). **Plant and soil**, v.200, n.2, p.241-250, 1998.
- MACHLACKOVA, I.; ZMRHAL, Z. The effect some micronutrients and heavy metals on phosphate absorption by maize root cortex segments. **Biologia plantarum**, v.26, n.3, p.161-165, 1984.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARQUES, T.C.L.L.S.M. **Crescimento e absorção mineral de mudas de espécies arbóreas em material de solo contaminado com metais pesados**. Lavras, 1996. 116p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MISHRA, D.; KAR, M. Nickel in plant growth and metabolism. **The botanical review**, v.40, n.4, p.395-449, 1974.
- MITCHELL, R.L. Cobalt and nickel in soils and plants. **Soil science**, v.60, p.63-70, 1945.
- PAIVA, H.N. **Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.)**. Lavras, 2000. 283p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras
- PAIVA, H.N.; CARVALHO, J.G.; SIQUEIRA, J.O. Efeito de Cd, Ni, Pb e Zn sobre mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley) em solução nutritiva. **Revista árvore**, v.24, n.4, p.369-378, 2000.
- PALACIOS, G.; GÓMEZ, I.; CARBONELL-BARRACHINA, A.; NAVARRO PEDREÑO, J. MATAIX, J. Effect of nickel concentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. **Journal of plant nutrition**, v.21, n.10, p.2179-2191, 1998.



- SIMON, L. Cadmium accumulation and distribution in sunflower plant. **Journal of plant nutrition**, v.21, n.2, p.341-352, 1998.
- SOARES, C.R.F.S. **Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva**. Lavras, 1999. 132p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- VÁSQUEZ, M.D.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Pulvinus structure and leaf abscission in cadmium-treated bean plants (*Phaseolus vulgaris*). **Canadian journal of botany**, v.67, n.9, p.2756-2764, 1989.
- WALKER, W.M.; MILLER, J.E.; HASSETT, J.J. Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium, and phosphorus concentration in young corn plants. **Soil science**, v.124, n.3, p.145-151, 1977.
- YANG, X.; BALIGAR, V.C.; FOSTER, J.C.; MARTENS, D.C. Accumulation and transport of nickel in relation to organic acids in ryegrass and maize grown with different nickel levels. **Plant and soil**, v.196, n.2, p.271-276, 1997.
- YANG, X.; BALIGAR, V.C.; MARTENS, D.C.; CLARK, R.B. Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plant species, **Journal of plant nutrition**, v.19, n.3/4, p.643-656, 1996b.
- YANG, X.; BALIGAR, V.C.; MARTENS, D.C.; CLARK, R.B. Plant tolerance to nickel toxicity: 2- nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. **Journal of plant nutrition**, v.19, n.2, p.265-279, 1996a.