

NÍQUEL – DE TÓXICO A ESSENCIAL¹

Eurípedes Malavolta²

Milton Ferreira Moraes³

O RELHA-DE-RATO é a expressão usada para descrever sintomas peculiares das folhas de pecã (*Carya illinoensis*) e de algumas outras plantas. A ponta das folhas novas apresenta manchas escuras e é arredondada, o que lhes confere um aspecto parecido com o da orelha do rato. A desordem, conhecida desde 1918, afetou pomares no Sudeste da Costa do Golfo e das Planícies Costeiras dos Estados Unidos (WOOD et al., 2004a).

Inicialmente, a desordem foi atribuída a várias causas, como dano por baixa temperatura no verão, doença causada por vírus ou deficiência de manganês (Mn) ou cobre (Cu). Entretanto, a análise das folhas afetadas e das sadias revelou que os sintomas eram devidos à deficiência de níquel (Ni), causada por baixos níveis no solo ou induzida por excesso de Zn (WOOD et al., 2004b). A pulverização foliar de sulfato de níquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), realizada no outono, foi transportada para tecidos dormentes de ramos e gemas numa proporção suficiente para o crescimento normal. Na primavera seguinte, as folhas das plantas tratadas tinham aspecto normal, apresentando 7 mg kg⁻¹ de Ni, enquanto as deficientes tinham 0,5 mg kg⁻¹. Os solos dos pomares mostrando deficiência severa apresentavam de 0,4 a 1,4 kg ha⁻¹ de Ni (WOOD et al., 2006a).

O Ni costumava ser classificado como não essencial ou tóxico para as plantas. Entretanto, o trabalho com a pecã e com outras culturas mostrou que ele satisfaz o critério indireto de essencialidade proposto por Arnon e Stout (1939). Ele preenche também o critério direto: a urease é uma metaloenzima ubíqua contendo Ni (DIXON et al., 1975). Eskew et al. (1983, 1984) e Brown et al. (1987) colocaram-no na lista de micronutrientes. Já em 1946, Roach e Barclay, em ensaios de campo feitos na Inglaterra com trigo, batata e vagens, obtiveram aumentos na produção graças à aplicação de Ni em pulverizações. Anteriormente, Arnon (1937), em um experimento no qual cultivou cevada em solução nutritiva, verificou

Veja também neste número:

Os caminhos do nitrogênio – do fertilizante ao poluente	6
Divulgando a Pesquisa	11
Painel Agrônômico	13
Cursos, Simpósios e outros Eventos	14
Publicações Recentes	15
Ponto de Vista	16
ENCARTE	24 p.

maior produção de massa seca em presença de crômio (Cr), molibdênio (Mo) e Ni quando a fonte de nitrogênio (N) era o sulfato de amônio. O efeito não foi observado quando a fonte de N era a níttrica. Não foi fornecida explicação para esse achado. Menciona-se, a propósito, que o Ni está presente na solução nutritiva de Epstein e Bloom (2005, p. 31). Ao que parece, Arnon (1937) não deu importância ao efeito do Ni, já que o omitiu no título do trabalho. Quinze anos antes do experimento de Arnon (1937), Bertrand e Mokrgatz (1922) fizeram uma comunicação à Academia de Ciências da França sobre a “presença do cobalto (Co) e do Ni nas plantas”. Anteriormente, “descobriram e determinaram os dois elementos na terra arável”.

A urease desdobra a uréia hidroliticamente em amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂). A uréia [CO(NH₂)₂] se origina da amida arginina sob ação da enzima arginase. A deficiência de Ni, impedindo a ação da urease, leva ao acúmulo de uréia, o que causa manchas necróticas nas folhas (Figura 1). Como consequência da

¹ Tradução ampliada do artigo “Nickel – from Toxic to Essential Nutrient”, publicado em **Better Crops**, v. 91, n. 3, p. 26-27, 2007.

² Professor Catedrático (aposentado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP), Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq; e-mail: mala@cena.usp.br

³ Eng. Agr., M.Sc., Estudante de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Bolsista FAPESP; e-mail: moraesmf@yahoo.com.br



Figura 1. Sintomas de deficiência de níquel em cevada (*Hordeum vulgare* L. cv Onda) após 50 dias em solução nutritiva contendo concentrações equimolares de nitrato e amônio. Os sintomas incluem clorose e necrose no ápice das folhas, desenvolvimento de folhas finas com aspecto de "rabo-de-rato" e clorose intervalar das folhas jovens (Crédito: Dr. Patrick Brown, University of California, Davis).

deficiência, o metabolismo de ureídeos, aminoácidos e de ácidos orgânicos é perturbado. Os ácidos oxálico e málico se acumulam (BAI et al., 2006). Esses fatos sugerem que o Ni possa exercer múltiplos papéis nas plantas. As manchas necróticas, associadas com a deficiência, coincidem com locais de acumulação de uréia ou dos ácidos oxálico e láctico, o que indica também mudanças no metabolismo do carbono (C), em particular diminuição na respiração.

O níquel tem relação também com a fixação simbiótica do N visto que aumenta a atividade da hidrogenase em bacterióides isolados dos nódulos (KLUCAS et al., 1983). Mais recentemente, Ureta et al. (2005) demonstraram que baixo nível de Ni nos solos agrícolas pode limitar a atividade da hidrogenase simbiótica de *Rhizobium leguminosarum*. Quando presente na solução nutritiva, inibiu a produção de etileno por feijão e macieira (SMITH e WOODBURN, 1984). Bertrand e Wolf (1954) analisaram as raízes, nódulos e parte aérea de várias leguminosas, entre elas feijão e soja. Consistentemente, os teores mais altos de Ni e Co foram encontrados nos nódulos. Experimentos de campo descritos em 1973 mostraram que a adição de até 40 g ha⁻¹ Ni aumentou a nodulação e a produção de grãos de soja (BERTRAND, 1973). Em revisões extensas, Mishra e Kar (1974) e Gerendas et al. (1999) mencionam que pulverizações com sais de Ni são muito eficientes contra a infecção de ferrugens de cereais devido à sua toxidez para o patógeno e também devido a mudanças causadas na fisiologia do hospedeiro que levam à resistência. Em sua contribuição, Forsyth e Peterson (1958) haviam demonstrado a ação protetora e erradicativa do Ni com respeito à ferrugem dos cereais (trigo e aveia) e do girassol. Com base em trabalho na mesma linha, Graham et al. (1985) chamam a atenção para a possibilidade do uso do Ni no controle de ferrugens que afetam diversas culturas em várias regiões.

Plantas cultivadas em solos não contaminados possuem Ni numa larga faixa de 0,05 a 5 mg kg⁻¹ de massa seca. A amplitude de variação é devido à disponibilidade no solo e à espécie analisada. Órgãos diferentes ou partes da mesma planta também podem mostrar teores diversos. De acordo com Gerendas et al. (1999), o limbo foliar possui mais Ni durante o crescimento vegetativo. Na colheita, entretanto, os grãos possuem mais Ni que a palha. No florescimento da primavera, a repartição de micronutrientes nos ramos de laranja revelou um conteúdo surpreendentemente alto de Ni, metade do

total encontrado nas flores (Figura 2). É sabido que o aumento no nível de NH₃ nas folhas pode causar um incremento na indução floral (LOVATT et al., 1988). Isto sugere que o alto nível de Ni nas flores, não relatado previamente, possa aumentar a atividade da urease e gerar NH₃ que, por sua vez, aumentaria o florescimento e a porcentagem de pegamento (MALAVOLTA et al., 2006).

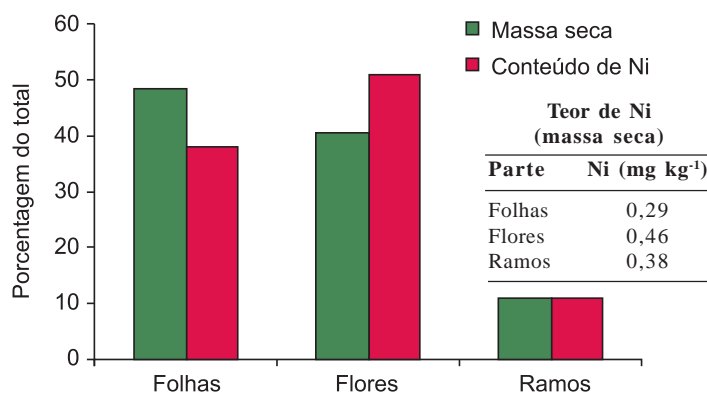


Figura 2. Conteúdo e repartição de Ni em citros no surto primaveril. Fonte: MALAVOLTA et al. (2006).

Os sintomas de toxidez se desenvolvem quando níveis excessivos são absorvidos. Tais sintomas incluem clorose, devida à menor absorção de ferro, crescimento reduzido das raízes e da parte aérea, deformação de várias partes da planta e manchas peculiares nas folhas (MISHRA e KAR, 1974). As plantas variam em sua sensibilidade ao excesso. Assim, por exemplo, o feijão é mais sensível que o arroz (PICCINI e MALAVOLTA, 1992). Os níveis tóxicos estão comumente na faixa de 25 a 50 mg kg⁻¹.

Há espécies, entretanto, que toleram níveis excepcionalmente altos de Ni no substrato e no tecido – as hiperacumuladoras. Tais plantas prosperam em solos ricos em Ni, usualmente solos de serpentina ou contaminados. *Alyssum bertolonii*, encontrada na Itália e na Geórgia (na ex URSS), contém 4.000 mg kg⁻¹ nas folhas e 2.500 mg kg⁻¹ nas sementes. Entre as plantas coletadas em solos ricos em Ni do Brasil, Brooks et al. (1990) encontraram várias hiperacumuladoras: *Vellozia* spp, com mais de 3.000 mg kg⁻¹ em suas folhas, e *Sebertia acuminata*, com 11.700 mg kg⁻¹.

USO NO CAMPO E RESPOSTA

Culturas no campo respondem à adição de Ni? As exigências de Ni são da mesma ordem de grandeza que as de Mo e Co, ao redor de 0,05 mg kg⁻¹ de massa seca. A deficiência de Mo tem sido descrita e são bem conhecidas as respostas ao seu uso. O Co é aplicado rotineiramente no tratamento de sementes de leguminosas. Respostas ao Ni, além das constatadas em pecã (Figura 3) e bétula (*Betula nigra*) (RUTER, 2005), poderão aparecer no futuro em outros países e em outras culturas.

O Ni ocorre nos solos em várias formas: na solução do solo, trocável e não trocável, em minerais e associado à matéria orgânica. O teor de Ni "assimilável" em solos franceses foi determinado por Bertrand e Wolf (1968) após extração com ácido nítrico diluído, os teores variaram de 47 a 1.590 µg (microgramas) kg⁻¹. Teores inferiores a 200 µg indicam possibilidade de resposta à adição de Ni. De acordo com esse critério, "ao redor de 27% das terras francesas aráveis são deficientes em níquel". Um estudo de 863 solos norte-americanos mostrou uma média de 20 mg kg⁻¹ e uma variação de menos de 5 até 700 mg kg⁻¹ (UREN, 1992). Análises de 38 amostras de solos do Estado de São Paulo mostraram um teor do Ni solúvel em DTPA na faixa de menos de 0,5 até 1,4 mg kg⁻¹, valores conside-



Figura 3. Esta árvore de pecã estava deficiente em níquel. O galho à direita foi tratado no início da primavera com uma única aplicação foliar de sulfato de níquel, enquanto o galho à esquerda não foi tratado. Efeitos no crescimento foram visíveis cerca de 14 dias após o tratamento (Crédito: Dr. Bruce Wood, USDA-ARS).

rados baixos. O teor total variou de menos de 10 até um máximo de 127 mg kg⁻¹ (ROVERS et al., 1983).

A deficiência de Ni pode ser devida aos baixos níveis das formas disponíveis ou pode ser induzida por vários fatores, particularmente os seguintes (WELLS, 2005; WOOD et al., 2006a): 1) altos teores de Ca, Mg, Cu e Zn inibem a absorção; 2) a disponibilidade diminui com aplicações excessivas de calcário, que elevam o pH acima de 6,5; 3) altas doses de adubos fosfatados ou altos níveis de P no solo reduzem a disponibilidade no próprio solo ou dentro da planta propriamente dita; 4) nematóides danificam o sistema radicular e causam deficiência severa.

Uma ou duas aplicações de Ni nas folhas, na concentração de 10 a 100 mg L⁻¹ (mais uréia e um surfactante), no caso da pecã, podem corrigir a deficiência e garantir o crescimento normal. Os tratamentos são feitos durante a fase inicial de expansão da copa ou logo depois da abertura das gemas (WOOD et al., 2006a). Esta prática, eficiente para a orelha-de-rato da pecã, pode servir como exemplo para outras frutíferas perenes, a serem avaliadas mediante experimentação. O trabalho com bétula foi feito em plantas cultivadas em vasos. As plantas pulverizadas com sulfato de níquel nas concentrações de 394 e 789 mg L⁻¹ de Ni, na presença de uréia, mostraram crescimento normal 7 dias após o tratamento. Outras tratadas com 500 mL de solução por vaso (150 mg Ni), fizeram-no 16 dias depois da aplicação. Seregin e Kozhevnikova (2006) relatam que a pulverização do algodoeiro com uma solução de sulfato de níquel (234,8 mg kg⁻¹) aumentou o número de gemas e de flores, a velocidade de crescimento das maçãs e o teor de óleo das sementes. Recentemente, Wood et al. (2006b) foram capazes de corrigir a deficiência de Ni em pecã com pulverização de um extrato aquoso de *Alyssum murale*, uma hiperacumuladora.

Vários produtos podem ser usados em pulverizações, incluindo-se sulfato, NiSO₄·6H₂O e quelatos sintéticos. Tanto a American Association of Plant Food Control Officials como o Departamento de Agricultura (USDA) colocaram o Ni na lista dos micronutrientes. Um produto novo, um quelado de lignosulfonato com 6% de Ni e 10% de N está no mercado norte-americano. No Brasil, a lei que controla o comércio de fertilizantes e corretivos apresenta uma lista de produtos para aplicação via solo ou foliar e estabelece a concentração mínima para registro.

LITERATURA CITADA

- ARNON, D.I. Ammonium and nitrate nitrogen nutrition of barley and rice at different seasons in relation to hydrogen ion concentrations, manganese, copper and oxygen supplied. **Soil Science**, v. 44, n. 2, p. 91-121, 1937.
- ARNON, D.I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, v. 14, n. 2, p. 371-375, 1939.
- 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.
- BERTRAND, D. Importance du nickel, comme oligo-élément, pour les *Rhizobium* des nodosités des légumineuses. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences**, Paris, v. 276, n. 12, p. 1855-1858, 1973. (Serie D).
- BERTRAND, D.; WOLF, A. Le nickel et le cobalt des nodosités des légumineuses. **Bulletin de la Societe de Chimie Biologique**, v. 36, n. 6-7, p. 905-907, 1954.
- BERTRAND, D.; WOLF, A. Sur le nickel "assimilable" des terres arables. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences**, Paris, v. 267, n. 1, p. 81-83, 1968.
- BERTRAND, G.; MOKRAGNATZ, M. Sur la presence du cobalt et du nickel chez les végétaux. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences**, Paris, v. 175, p. 458-460, 1922.
- BROOKS, R. R.; REEVES, R. D.; BAKER, A. J. M.; RIZZO, J. A.; FERREIRA, H. D. The Brazilian serpentine plant expedition (BRASPEX), 1988. **National Geographic Research**, v. 6, n. 2, p. 205-219, 1990.
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987.
- DIXON, N. E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5) a metalloenzyme: simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, v. 97, n. 14, p. 4131-4133, 1975.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2ed. Sunderland: Sinauer, 2005. 400 p.
- ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher-plants. **Science**, v. 222, n. 4624, p. 621-623, 1983.
- ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. **Plant Physiology**, v. 76, n. 3, p. 691-693, 1984.
- FORSYTH, F. R.; PETURSON, B. Chemical control of cereal rusts. 4. The influence of nickel compounds on wheat, oat, and sunflower rusts in the greenhouse. **Phytopathology**, v. 49, n. 1, p. 1-3, 1959.
- GERENDAS, J.; POLACCO, J. C.; FREYERMUTH, S. K.; SATTELMACHER, B. Significance of nickel for plant growth and metabolism. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 162, n. 3, p. 241-256, 1999.
- GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; WALKER, C. D. A role for nickel in the resistance of plants to rust. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 3., 1985, Hobart. **Proceedings...** Hobart: Australian Society of Agronomy, 1985. p. 337.
- KLUCAS, R. V.; HANUS, F. J.; RUSSELL, S. A.; EVANS, H. J. 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, 1983.
- LOVATT, C. J.; ZHENG, Y. S.; HAKE, K. D. Demonstration of a change in nitrogen-metabolism influencing flower initiation in citrus. **Israel Journal of Botany**, v. 37, n. 2-4, p. 181-188, 1988.
- MALAVOLTA, E.; LEÃO, H. C. de; OLIVEIRA, S. C.; LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M. F.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, M. Repartição de nutrientes nas flores, folhas e ramos da laranja cultivar natal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 506-511, 2006.
- MISHRA, D.; KAR, M. Nickel in plant growth and metabolism. **Botanical Review**, v. 40, n. 4, p. 395-452, 1974.
- PICCINI, D. F.; MALAVOLTA, E. Toxicidade de níquel em arroz de feijão em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 229-233, 1992.
- ROACH, W. A.; BARCLAY, C. Nickel and multiple trace element deficiencies in agricultural crops. **Nature**, v. 157, n. 3995, p. 696, 1946.
- ROVERS, H.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Níquel total e solúvel em DTPA em solos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 3, p. 217-220, 1983.
- RUTER, J. M. Effect of nickel applications for the control of mouse ear disorder on River Birch. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 23, n. 1, p. 17-20, 2005.
- SEREGIN, I. V.; KOZHEVNIKOVA, A. D. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 53, n. 2, p. 257-277, 2006.
- SMITH, N. G.; WOODBURN, J. Nickel and ethylene involvement in the senescence of leaves and flowers. **Naturwissenschaften**, v. 71, n. 4, p. 210-211, 1984.
- UREN, N. C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. **Advances in Agronomy**, v. 48, p. 141-203, 1992.
- URETA, A. C.; IMPERIAL, J.; RUIZ-ARGÜESO, T.; PALACIOS, J. M. *Rhizobium leguminosarum* biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 11, p. 7603-7606, 2005.
- WELLS, L. **Mouse-ear of pecan**. The University of Georgia, Cooperative Extension, 2005. 4 p. (Circular, 893).
- WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Mouse-ear of pecan: I. Symptomatology and occurrence. **HortScience**, v. 39, n. 1, p. 87-94, 2004a.
- 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, 2004b.
- WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes. **Acta Horticulturae**, v. 721, p. 83-97, 2006a.
- WOOD, B. W.; CHANEY, R.; CRAWFORD, M. Correcting micronutrient deficiency using metal hyperaccumulators: *Alyssum* biomass as a natural product for nickel deficiency correction. **HortScience**, v. 41, n. 5, p. 1231-1234, 2006b.