

A SAÚDE HUMANA DEPENDE DOS NUTRIENTES DO SOLO

John Duxbury¹
Graham Lyons²
Tom Bruulsema³

A nutrição humana continua em crise. Embora a prevalência da fome tenha diminuído em 21% desde 1990, pelo menos 805 milhões de pessoas ainda passam fome. Entre as crianças menores de cinco anos, estima-se que 161 milhões apresentem crescimento atrofiado (baixa altura para a idade). A deficiência de micronutrientes devida à falta de vitaminas e minerais na dieta afeta cerca de 2 bilhões de pessoas, com vários impactos adversos à saúde e, muitas vezes, prejudicando tanto o desenvolvimento físico como o mental das crianças. Como os níveis atmosféricos de dióxido de carbono tendem a aumentar, as deficiências de zinco (Zn) também seguem a mesma tendência (MYERS et al., 2014).

A maior parte dos nutrientes essenciais às plantas também é essencial aos seres humanos. A Ingestão Diária Recomendada (IDR) para a nutrição humana é proporcionada por cada nutriente considerado essencial para as plantas (NAS, 2014). O boro (B) não é plenamente reconhecido como essencial, porém, algumas evidências indicam que ele exerce papel nos ossos, no raquitismo e nas funções mentais. Diversas funções do níquel (Ni) são reconhecidas, embora sua necessidade na dieta humana seja $< 100 \mu\text{g}$ por dia (WELCH e GRAHAM, 2012).

A adubação com Zn, Ni, iodo (I), molibdênio (Mo) e selênio (Se) aumenta a concentração desses nutrientes nos grãos dos cereais e nos tecidos vegetativos. Por outro lado, a adubação com ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e silício (Si) tem pouco efeito sobre as concentrações nos grãos. Em geral, os tecidos das plantas têm níveis mais elevados de micronutrientes do que os grãos, com base no peso seco, e, assim, podem ser relevantes para a nutrição animal e para o valor nutricional dos produtos alimentares derivados de animais.

As deficiências de micronutrientes mais importantes são as de Fe, Zn e I. Para as culturas de grãos, o teor de Zn no trigo e no milho pode ser aumentado em duas vezes por meio da adubação foliar, e um pouco menos pela adubação no solo, mas os ganhos com arroz geralmente são menores que 50% (TARIQ et al., 2014; Tabela 1).

A FAO e outras organizações têm enfatizado que a boa nutrição requer sistemas alimentares sustentáveis, equitativos e resilientes. A diversidade nos sistemas de cultivo é importante. As leguminosas



Cortesia de Fernando Calle e Hernan Ceballos, CIAT

Adubação da cultura da mandioca com selênio, zinco e iodo no Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na Colômbia.

Tabela 1. Efeitos da adubação com Zn na concentração de Zn nos grãos de arroz e de trigo.

Fonte	Zn nos grãos de trigo (mg kg^{-1})				
	pH do solo	Sem Zn	Solo (S)	Foliar (F)	S + F
1	7,0-8,2	25	35	-	-
2	7,8	10	18	27	35
3	5,5	24	40	48	-

Fonte	Zn nos grãos de arroz (mg kg^{-1})				
	pH do solo	Sem Zn	Solo (S)	Foliar (F)	S + F
4	8,2	20	29	-	-
5	4,8-8,8	19	21	24*	26*
6	7,0	20	22	-	25

*Contaminação potencial com a segunda aplicação de Zn uma semana após a floração, e o arroz em casca apresentou alto teor de Zn.

Fontes: 1) Malakouti (1998); 2) Yilmaz et al. (1997); 3 e 6) Bodruzzman e Duxbury (não publicado); 4) Shivay et al. (2014); 5) Phattarakul et al. (2012).

Abreviações: As = arsênio; B = boro; Ca = cálcio; Cu = cobre; FAO = Food and Agriculture Organization; Fe = ferro; I = iodo; IDR = ingestão diária recomendada; K = potássio; Mg = magnésio; Mn = manganês; Mo = molibdênio; N = nitrogênio; Ni = níquel; P = fósforo; ppm = partes por milhão; S = enxofre; Se = selênio; Si = silício; Zn = zinco.

¹ Professor, Soil Science and International Agriculture, Cornell University, Ithaca, NY, Estados Unidos; e-mail: jmd17@cornell.edu

² Pesquisador Associado; School of Agriculture, Food and Wine; University of Adelaide, Austrália; e-mail: graham.lyons@adelaide.edu.au

³ Diretor do IPNI, Guelph, ON, Canadá; e-mail: tom.bruulsema@ipni.net

geralmente contêm níveis mais elevados de micronutrientes, comparadas aos cereais, mas sua viabilidade relativa diminuiu desde a Revolução Verde. Exceção notável é o crescimento do cultivo da soja em Bangladesh, cuja expansão foi de quase zero, em 1980, para mais de 40.000 ha, em 2010. Dietas sustentáveis para a família humana requerem o planejamento de sistemas agrícolas que proporcionem melhor nutrição.

Vastas áreas de solos no mundo têm pH baixo, restringindo a absorção de Ca e Mg, dois macronutrientes muito importantes para a saúde humana. Simples adições de calcário dolomítico podem aumentar a concentração desses dois elementos minerais, em especial nos produtos hortícolas, e, assim, prevenir doenças, como o raquitismo. Trabalho apoiado pela Universidade de Cornell, em Bangladesh, demonstrou aumentos de rendimento (10% a 50%) e melhorias na qualidade de mais de 40 culturas, incluindo amendoim, rabanete, alho, repolho, couve-flor, berinjela e açafrão, resultado da adoção da calagem em mais de 86.000 ha, por mais de 280 mil agricultores. A adição de iodato nos canais de irrigação tem sido utilizada com sucesso na China e na Mongólia para combater a deficiência de I onde o sal iodado não foi aceito (REN et al., 2008). A água fortificada distribuiu I no sistema de cultivo, aumentando os níveis nos solos, nas culturas e nos produtos de origem animal (carne, ovos e leite). Isso resultou em ganhos extraordinários na saúde humana, incluindo a diminuição de 50% na mortalidade infantil. A produtividade animal também foi maior, enfatizando os benefícios da melhora na qualidade nutricional dos alimentos para animais, bem como nos alimentos de origem vegetal.

Victor Moritz Goldschmidt (1888-1947), o pai da gequímica moderna, introduziu o termo *biophile* para definir os elementos encontrados em concentrações elevadas, absolutas ou relativas nos organismos vivos. Eles incluem N, S, P, K, Se, I, Zn e B. Esse conceito aponta para a importância do manejo do sistema solo-planta considerando esses nutrientes para plantas, animais e seres humanos.

Se e S são elementos fortemente biófilos. Na forma de sulfato e de selenato são muito lixiviáveis. Como consequência de incêndios, sobretudo nos cerrados, eles também podem ser perdidos para a atmosfera sob a forma de SeO₂ e SO₂ (CHRISTOPHERSEN et al., 2012). Quando o solo está deficiente em S, há diminuição no conteúdo de proteínas nos vegetais, principalmente aquelas ricas em S. Nas partes mais úmidas da África Subsaariana existem grandes áreas onde a dieta humana é deficiente em aminoácidos. Essa deficiência surge tanto pela baixa ingestão protéica como pela deficiência de S nos solos. A disponibilidade de Se é muito baixa em muitos solos na Zâmbia, Malawi, Ruanda, Burundi e outros países da África Subsaariana, com níveis comuns menores de 20 µg kg⁻¹ (HURST et al., 2013). Pesquisa com milho na Zâmbia, realizada em 2012, revelou concentração média de S de somente 1.030 mg kg⁻¹ e relação N:S de 13 a 15 (LYONS et al., 2014), valores equivalentes a apenas 60% dos níveis de deficiência críticos (REUTER e ROBINSON, 1997). Assim, nos programas que abordam as necessidades primárias de NPK dos solos na África Subsaariana, o S e o Se precisam ser levados em maior consideração.

Em muitos estudos, o selenato mostrou-se cerca de cinco vezes mais eficaz do que o selenito no aumento da concentração de Se nos grãos de cereais (cevada, trigo) e de leguminosas (grão-de-bico, ervilha). Relação inversa entre rendimento e concentração de Se nos grãos tem sido observada, devido à variação climática, indicando efeito de diluição/concentração da produtividade (McGRATH et al., 2013).

Décadas de experiência e pesquisa na Finlândia têm documentado grandes benefícios do Se em humanos a partir de programas de enriquecimento de fertilizantes com Se, iniciados na década de 1980. Na década de 1970, o consumo *per capita* de Se na dieta era de 30 µg, dos quais 70% vinham da carne e do leite. A deficiência de Se era generalizada, mas o Se inorgânico adicionado à dieta dos animais não era transferido em quantidade suficiente à carne ou ao leite. Os baixos níveis de Se nas culturas alimentícias e nos alimentos para os animais foram devidos à forte ligação dos ânions Se aos óxidos, em solos tipicamente ácidos. A partir de 1984, o selenato foi adicionado a todos os fertilizantes NPK utilizados em culturas forrageiras (16 mg kg⁻¹) e de cereais (6 mg kg⁻¹) como estratégia para alcançar níveis nutricionalmente adequados e seguros aos seres humanos. Em 1990, as taxas foram alteradas para 6 mg kg⁻¹ em todas as culturas e depois aumentadas para 10 mg kg⁻¹ em 1996. As alterações foram associadas às mudanças nos níveis de Se nos alimentos com a ingestão alimentar (Tabela 2). Os resultados incluíram a duplicação dos níveis de Se no soro humano e, embora outros fatores também estivessem envolvidos, a diminuição das taxas de mortalidade por doenças cardíacas em cerca de dois terços, no período de 1982 a 1997 (LAATIKAINEN et al., 2005). Efeitos sobre as taxas de câncer variaram de zero a moderado.

Tabela 2. A adubação com Se afeta os níveis do elemento nos alimentos e na dieta, na Finlândia.

Ano	1984	1991	1996	2002
Se na forragem, mg kg ⁻¹	16	6	10	10
Se no cereal, mg kg ⁻¹	6	6	10	10
Se no cereal de primavera*, mg kg ⁻¹	0,01	0,28	0,07	0,18
Se no leite, mg kg ⁻¹	0,05	0,20	0,14	0,22
Se na carne, mg kg ⁻¹	0,20	0,90	0,38	0,60
Dieta, µg dia ⁻¹	40	110	80	80

*Os teores de Se no trigo e no centeio de inverno foram muito inferiores (0,02 e 0,07 mg kg⁻¹) devido à redução do teor de selenato adicionado como selenito durante o inverno, mas aumentaram para cerca de 0,1 mg kg⁻¹ quando o Se foi adicionado durante o crescimento da cultura.

Fonte: Eurola (2005).

A disponibilidade de micronutrientes pode ser influenciada pela adição de macronutrientes. Quando fertilizantes fosfatos são adicionados a diferentes solos, a disponibilidade de Se para as plantas pode ser aumentada ou diminuída como resultado das reações de sorção e precipitação no solo. Mesmo que os fosforitos marinhos (rocha fosfática sedimentar) contenham muito mais Se do que os minerais fosfatados de origem ígnea (por exemplo, os da Península de Kola, na Rússia), a razão de concentração P/Se muitas vezes não é tão elevada como a dos solos aráveis dos ecossistemas naturais terrestres (McCONNELL, 1979). A aplicação de fertilizantes comerciais pode levar à redução da razão de concentração total Se/P no solo (dependendo da relação Se/P do fertilizante), que também pode conduzir à redução da proporção Se/P nos alimentos e nas plantas forrageiras. Isso remete ao princípio geral de manejo da fertilidade do solo, ou seja, quando os fertilizantes são usados para fornecer o nutriente mais limitante, pode haver implicações de longo prazo na absorção de outros nutrientes para as plantas. A aplicação de fertilizantes fosfatados de forma contínua, sem levar em conta outros nutrientes, pode levar à deficiência de outros nutrientes no solo, como S, Se e Zn.

O uso de águas subterrâneas contaminadas com arsênio (As) com propósito doméstico ou de irrigação, na bacia do Bengal, Índia, levou ao aumento dos níveis de As na água potável e nas culturas

irrigadas. Estima-se que 140 milhões de pessoas em todo o mundo estejam sob risco de contrair doenças relacionadas ao As, a maioria em Bangladesh. Pesquisas recentes com animais têm mostrado o papel potencial do enriquecimento da ração com Se na luta contra a toxicidade por As. Sah et al. (2013) forneceram lentilhas com conteúdo variável de Se (lentilhas em Saskatchewan com 0,3 ppm Se comparadas a lentilhas do noroeste do Estados Unidos com < 0,01 ppm Se) a ratos e observaram que o Se desempenhou papel na redução da retenção e aumento da excreção de As, resultando em níveis mais baixos de danos no fígado dos animais. A relevância dessas descobertas para a nutrição humana precisa ser confirmada por ensaios clínicos. No entanto, a biofortificação de lentilhas com Se por meio do melhoramento de plantas e adubação, e/ou seleção de grãos alimentícios com base no nível de Se dos solos em que as plantas foram cultivadas, poderá desempenhar papel relevante na solução dos problemas relacionados aos danos causados pelo excesso de As na saúde humana.

REFERÊNCIAS

- CHRISTOPHERSEN, O. A.; LYONS, G. et al. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). **Heavy metals in soils: Trace elements and metalloids in soils and their bioavailability**. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2012.
- EUROLA, M. (Ed.). **Agrifood Research Report 69**, MTT Agrifood Research. Finland, 2005.
- HURST, R.; SIYAME, E. W. et al. Soil-type influences human selenium status and underlies widespread selenium deficiency risks in Malawi. **Scientific Reports**, v. 3, p. 1425, 2013. doi: 10.1038/srep01425.
- LAATIKAINEN, T.; CRITCHLEY, J. et al. Explaining the decline in coronary heart disease mortality in Finland between 1982 and 1997. **American Journal of Epidemiology**, v. 162, p. 764-773, 2005.
- LYONS, G. H.; GONDWE, C. et al. In: BANUELOS, G. S.; LIN, X.; YIN Z-Q. (Ed.). **Selenium in the environment and human health**. Leiden: CRC Press, 2013.
- MALAKOUTI, M. J. Study on the effect of N, Fe, Mn, and Zn on the yield and quality of the onion. **Journal of Soil and Water** (Iran), v. 12, p. 34-43, 1998.
- McCONNELL, D. Biogeochemistry of phosphate minerals. In: TRUDINGER, P. A.; SWAINE, D. J. (Ed.). **Biogeochemical cycling of mineral-forming elements**. Elsevier, 1979. p. 163-204.
- McGRATH, S. P.; POBLACIONES, M. J.; RODRIGO, S. M. Biofortification of field crops with selenium in Mediterranean conditions. In: **Proceedings of the 3th International Conference on Selenium in the Environment and Human Health**. Publisher: CRC Press, 2013. p.115-117. doi: 10.1201/b15960-52.
- MYERS, S. S.; ZANOBETTI, A. et al. Increasing CO₂ threatens human nutrition. **Nature**, v. 510, p. 139-142, 2014. doi:10.1038/nature13179.
- NAS. National Academies of Science. Daily Reference Intakes, 2014.
- PHATTARAKUL, N.; RERKASEM, B. et al. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. **Plant and Soil**, v. 361, p. 131-141, 2012.
- REN, Q.; FAN, J. et al. An environmental approach to correcting iodine deficiency: Supplementing iodine in soil by iodination of irrigation water in remote areas. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 22, p. 1-8, 2008. doi: 10.1016/j.jtemb.2007.09.003
- REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant analysis: An interpretation manual**. 2.edition. Melbourne: CSIRO Publishing, 1997.
- SAH, S.; VANDENBERG, A.; SMITS, J. Treating chronic arsenic toxicity with high selenium lentil diets. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 272, p. 256-262, 2014.
- SHIVAY, Y. S.; PRASAD, R.; PAL, M. Effect of conditioning zinc sulfate heptahydrate (ZnSHH) with zinc oxide (ZnO) and neem oil on growth, productivity, zinc biofortification of hrain and zinc uptake by basmati rice. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, p. 1873-1884, 2014.
- TARIQ, A.; ANJUM, S. A. et al. Influence of zinc nutrition on growth and yield behaviour of maize (*Zea mays* L.) hybrids. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 2646-2654, 2014.
- WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. In: BRUULSEMA, T.; HEFFER, P.; WELCH, R. M.; CAKMAK, I.; MORAN, K. (Ed.). **Fertilizing crops to improve human health: A scientific review**. Norcross: IPNI/ Paris: IFA, Paris, 2012.
- YILMAZ, A.; EKIZ, H. et al. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, p. 461-471, 1997.

CONCURSO FOTOGRÁFICO ANUAL DO IPNI SOBRE DEFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS EM CULTURAS

O prazo para as inscrições no concurso fotográfico anual do IPNI sobre deficiências nutricionais em culturas – **Crop Nutrient Deficiency Photo Contest** – termina em 9 de Dezembro. Neste ano, além das quatro categorias de nutrientes (N, P, K e outros nutrientes) há uma nova categoria, relacionada a feno e forragem.

Os prêmios são os seguintes:

- US\$ 300 para o primeiro lugar e US\$ 200 para o segundo lugar para a melhor foto sobre deficiência em culturas.
- US\$ 150 para o primeiro lugar e US\$ 100 para o segundo lugar dentro de cada uma das categorias de nutrientes: N, P, K e outros de nutrientes.

Além desses, todos os vencedores receberão uma cópia atualizada da coleção de imagens do IPNI em USB. Para detalhes sobre o coleção, consulte <http://ipni.info/NUTRIENTIMAGECOLLECTION>

As inscrições só podem ser realizadas eletronicamente no site do concurso: www.ipni.net/photocontest. As informações necessárias (em Inglês) para todas as fotos, devem incluir: nome do candidato, filiação e informações de contato; cultura e estágio de crescimento, local e data da foto; informações relacionadas à planta, como análise foliar, análise de solo, fatores de manejo e detalhes que possam estar relacionados à deficiência.

Os vencedores serão anunciados e notificados em janeiro de 2016. Os resultados serão postados no site: www.ipni.net

