

Síndrome das raízes atrofiadas

A toxidez de alumínio, também provocada pela fixação biológica de N, é uma das causas de baixa produtividade em soja, por inibir as raízes.

Tsuiohi Yamada*

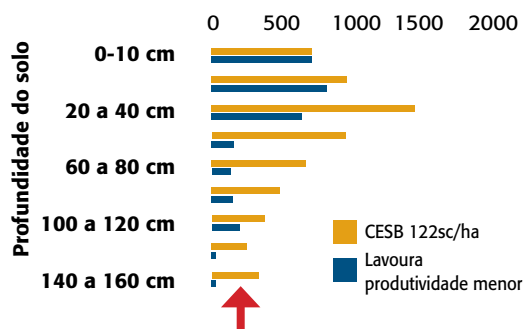
Há vários anos, o Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB) promove concursos de produtividade da soja entre produtores de diferentes regiões do país. Resultados surpreendentes se repetem ano a ano, até atingir, recentemente, produtividades acima de 100 sc/ha. A cifra representa mais que o dobro da média do estado de Mato Grosso (Figura 1), indicando o grande potencial que ainda existe na produtividade da soja.

Informações coletadas destes campos permitem identificar fatores de solo e práticas de manejo da cultura que afetam a produtividade da soja. Um ponto comum nas lavouras de alta produtividade é o extenso e profundo sistema radicular, que atinge, em alguns casos até 160 cm de profundidade, conforme a Figura 2. O resultado é creditado, principalmente, à falta de impedimentos físico e químico ao crescimento radicular. Isto me remete à década de 1980, quando estive em visita à fazenda de Herman Warsaw. A fazenda (Illinois - EUA) era a campeã de produtivi-

Figura 2

Área de Capão Bonito SP (solo argiloso)

Comprimento radicular (mm/camada)



Soja/hectare/MT/CESB

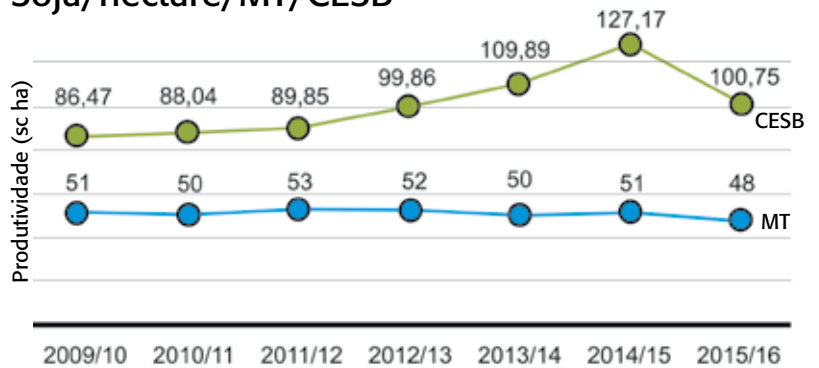


Figura 1 - Evolução da produtividade da soja no Mato Grosso /CESB - 2009a 2015.

dade de milho, cujo perfil de solo era tão fértil que apresentava raízes com até 180 cm de profundidade. Na época, acreditava ser impossível isto ocorrer no Brasil, mas, felizmente, isso já é realidade na nossa soja de alto rendimento.

Sako *et al* (2016) na Circular Técnica 2 do CESB “Fatores decisivos para se obter produtividade de soja acima de 4.200 kg/ha” destacaram os 5 fatores agrônômicos que explicam as altas produtividades da soja:

(1) Solo sem impedimento físico ao

desenvolvimento radicular; (2) Boa disponibilidade de Ca e Mg no perfil do solo; (3) Bons teores de potássio, boro e cobre no perfil do solo; (4) Manejo fitossanitário adequado; e (5) Distribuição uniforme de sementes. Os itens 1, 4 e 5 relacionam-se ao manejo da cultura, e os itens 2 e 3 à fertilidade do solo. Retratam o óbvio, ou seja, se houver boa correção da fertilidade do perfil solo, semeadura bem feita e bom manejo da cultura, evitando compactação do solo e controlando bem as plantas daninhas, pragas e doenças, é possível obter altas produtividades.

Os dados do CESB mostram a importância do sistema radicular extenso e profundo para alta produtividade da soja. Assim, acredito que o principal problema que afeta a produtividade da soja é o mau desenvolvimento do sistema radicular, que, devido à sua ocorrência generalizada, denominei de Síndrome das Raízes Atrofiadas. E, excluindo-se a compactação do solo, três causas químicas – isolada ou simultaneamente – podem causar esta síndrome

* O autor é doutor em engenharia agrônômica, e tem um site: www.agrinature.com.br

me: toxidez de alumínio (Fig.3), deficiência de boro e toxidez de glifosato, as duas últimas serão discutidas em artigos em próximas edições da **Agro DBO**.

Toxidez por alumínio

A porcentagem de saturação por alumínio em relação à CTC (Capacidade de Troca Catiônica) efetiva (Al + Ca + Mg + K), ou valor m, é o parâmetro mais utilizado para classificar os solos quanto ao alumínio tóxico. Se aceita que até 15% de saturação por alumínio os solos podem ser considerados como de muito baixa toxicidade em alumínio. Já nas áreas do CESB a saturação por alumínio estava perto de zero na maior parte do perfil do solo, exemplificada nas análises de solo de dois campeões nacionais de produtividade (Tabela 1)

Observaram ainda que, mesmo em condições de altas produtividades, com solos aparentemente bem corrigidos, o alumínio afetou a produtividade em todas as profundidades analisadas. As colheitas com mais de 100 sc/ha foram obtidas em solos melhor corrigidos, comparadas àquelas com menos de 100 sc/ha. A principal diferença de correção estava no alumínio trocável. As áreas com menos de 100 sc/ha apresentavam, nas camadas abaixo de 20 cm de profundidade, saturação por Al > 5% e Al trocável > 3 mmolcdm⁻³. Estes teores de Al já podem ser danosos à produtividade, de acordo com Nicolodi *et al* (Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:237-247, 2008)



que recomendam a manutenção da saturação por Al menor que 5% e de alumínio trocável menor que 3 mmolcdm⁻³ em solo sob sistema plantio direto.

Estes resultados alertam que, para obter altas produtividades de soja, a correção da fertilidade apenas dos 20 cm superficiais do solo não é suficiente e que se deve ter como meta a correção de, pelo menos, até 100 cm de profundidade.

Na soja, a acidez pode causar danos não só à planta, mas principalmente ao rizóbio, como mostra a Figura 4. Nota-se que houve redução no número de nódulos de 80 para 20 com o aumento da saturação por alumínio de 4% para 81%. Como a prática da calagem permite o aumento do teor de Ca no solo, observou-se também o aumento do teor de Ca nas raízes de soja (Sartain e Kamprath, 1975. *Agronomy Journal*, 67:507-510), nutriente este muito importante na fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Acidificação do solo pela ureia e fixação biológica de nitrogênio

A acidez gerada pela adubação nitrogenada ocorre na camada mais superficial do solo, que é o habitat das Nitrosomonas, enquanto a FBN atua em subsuperfície, ao longo do sistema radicular da soja com presença de rizóbios. O N - tanto na forma orgânica como na amoniacal - é a principal fonte de acidez e, conseqüentemente, de alumínio no solo. Porém, no caso da sucessão soja-milho, não é o adubo nitrogenado, e sim a fixação biológica de N que mais acidifica o solo.

Cada quilograma de N fixado pelo rizóbio requer 3,57 kg de carbonato de cálcio para neutralizar a acidez gerada, pois gasta-se meia molécula de carbonato de cálcio (100 g de peso molecular) para cada meia molécula de N₂ fixado (14 g).

No caso da ureia, também são necessários 3,57 kg de carbonato de cálcio para neutralizar a acidez gerada na nitrificação de 1 kg de N dela proveniente. Porém, a ureia, ao ser nitrificada, acidifica a camada superficial do solo, mas alcaliniza a subsuperfície, pois a planta, ao absorver o N-nítrico, excreta hidroxila, que neutraliza a acidez formada na nitrificação, deixando, no final, balanço zero de acidez - admitindo-se que todo o N-nítrico seja absorvido pela planta. Assim, as gramíneas podem aumentar o pH do solo na camada subsuperficial pela absorção de N-nítrico, pois, quase sempre, os teores de N-nítrico no solo são

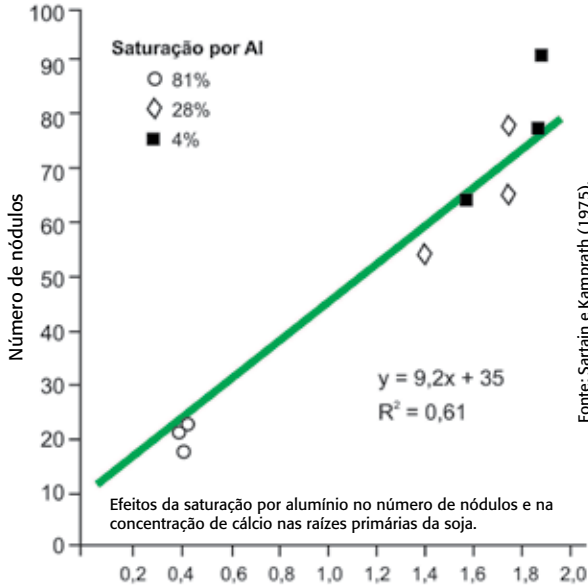
Tabela 1. Saturação de alumínio e de bases nos campeões de produtividade 14/15 e 15/16 do Desafio Nacional de Máxima Produtividade. Fonte CESB

Profundidade (cm)	Produtividade (sc/ha)			
	120	141,7	120	141,7
	m%		V%	
0-10	0,0	0,0	77	82
10 a 20cm	0,0	0,0	76	64
20 a 40cm	0,0	0,0	77	56
40 a 60cm	0,0	2,0	57	48
60 a 90cm	0,0	6,0	57	39
90 a 110cm	0,0	3,0	42	42

Para obter altas produtividades de soja é preciso, antes, obter altas produtividades de milho ou de gramíneas de cobertura.

Figura 4

Saturação por alumínio na FBN



maiores que os de N-amoniacoal (que diminui o pH da rizosfera pela excreção de H⁺). No solo, o N é fixado pelo rizóbio como ureído, e que dentro da planta é transformado em N-amoniacoal, o que leva à acidificação da rizosfera. Estes fenômenos estão ilustrados na Figura 5.

Em geral, não se dá a devida importância à acidificação do solo ocasionada pela FBN, a despeito dos trabalhos existentes na literatura. Como o de Haynes, R.J. (Grass and Forage Crops, 38:1-11,1983), o qual mostrou que a acidificação de um solo durante 32 anos sob pasto de trevo subterrâneo ocorreu da superfície até a quase 40 cm de profundidade, mas principalmente entre 5 e 30 cm (Figura 6), onde a FBN pode ser mais ativa.

Esta curva de acidificação no solo pela FBN nos leva a questionar: será que muitos problemas de falta de desenvolvimento radicular atribuídos à compactação do solo não poderiam ser, de fato, devidos à toxicidade por alumínio gerada pela acidificação oriunda da FBN?

Quantificando o efeito da aci-

dição pela FBN, Nyatsanga e Pierre (Agronomy Journal, 65:936-940, 1975) citam a necessidade de 600 kg de CaCO₃/ha para neutralizar a acidez gerada na produção de 10 toneladas de alfafa por ha e ainda de 2.000 ppm de CaCO₃ (ou 4 t CaCO₃/ha) para retornar o solo ao pH original, após a cultivo da soja.

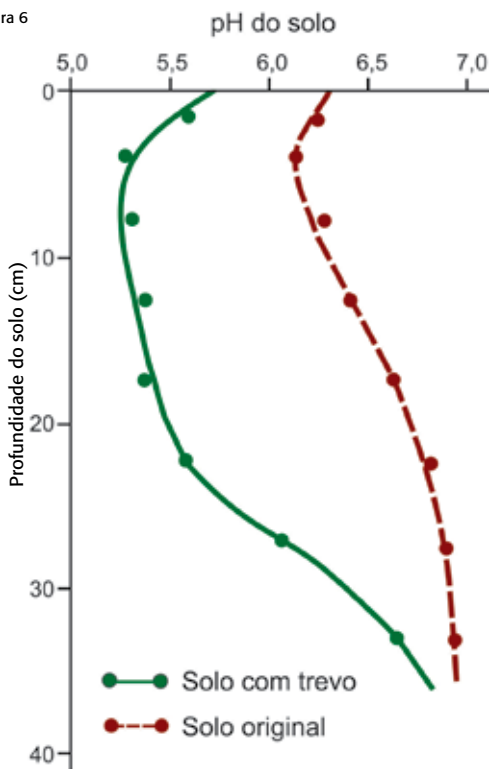
A soja acidifica o solo mais que o milho

Em um exercício teórico, no qual se supõem: (1) produtividade de 6.000 kg ha⁻¹ de soja (safra) e de 9.000 kg ha⁻¹ de milho (safrinha), (2) grãos de soja com 60 g N kg⁻¹ (sendo 100% originados da FBN) ou 360 kg de N nos 6.000 kg de soja e (3) grãos de milho com 15 g N kg⁻¹ (sendo 100% originados de N-nítrico) ou 135 kg de N nos 9.000 kg de milho, é possível quantificar a acidificação potencial deste sistema de produção soja/milho. Verifica-se na Tabela 2 que:

(1). Não havendo perda de N-nítrico por lixiviação, o milho adubado com ureia não acidifica o sistema, pois a acidez gerada pela ureia na superfície é neutralizada pela al-

Acidificação do solo por FBN

Figura 6



Acidificação do perfil do solo por 32 anos sob pasto de trevo subterrâneo. Fonte: Haynes (1983).

Efeitos de N no pH da rizosfera

Figura 5

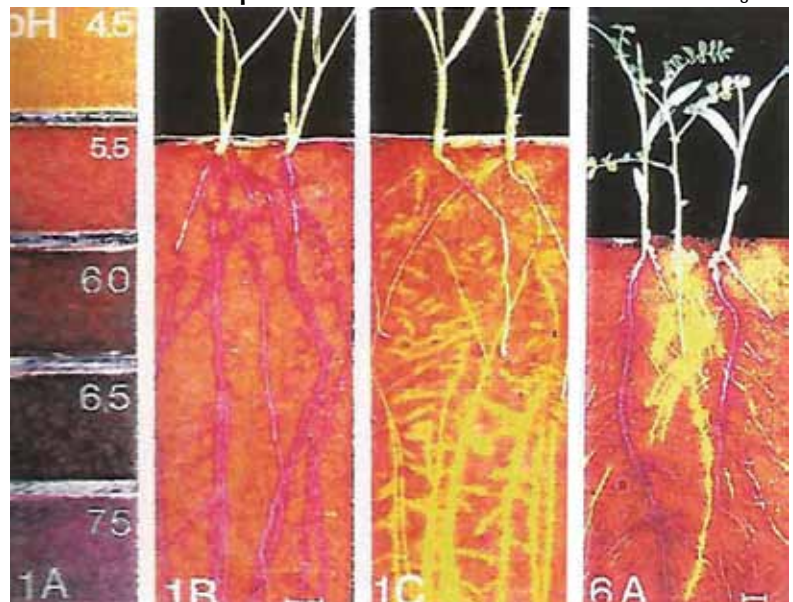


Tabela 2. Acidificação potencial teórica gerada na produção de 6.000 kg ha¹ de soja (safra) e de 9.000 kg ha¹ de milho (safrinha).

Camada de solo	CaCO ₃ (kg)	
	Milho (9.000 kg)	Soja (6.000 kg)
Superficial		
acidificação pela ureia	135 x 3,57 = 482 (+)	
Subsuperficial		
acidificação pela FBN		360 x 3,57 = 1.285 (+)
alcalinização pelo N-NO ₃	135 x 3,57 = 482 (-)	
Balanco por cultura	zero	1.285 (+)
Balanco no sistema	1.285 (+)	

calinidade gerada em subsuperfície, pela absorção de nitrato. No entanto, esta neutralização em subsuperfície tem como custo a acidificação na superfície, equivalente a 482 kg de carbonato de cálcio utilizados para a produção dos 9.000 kg de milho.

(2). A soja, por meio da FBN, deixa na camada subsuperficial do solo uma acidez que requer 1.285 kg de carbonato de cálcio para sua neutralização. No entanto, como a cultura do milho já deixou um crédito de alcalinidade de 482 kg de carbonato de cálcio, a acidez residual em subsuperfície será equivalente a 1.285 - 482 = 803 kg de carbonato de cálcio para sua neutralização.

(3). O balanço ácido/base na sucessão soja-milho mostra a necessidade de 482 kg (superfície) + 803 kg (subsuperfície) = 1.285 kg de carbonato de cálcio ou 1.713 kg de calcário com 75% de PRNT para neutralizar a acidez gerada no sistema.

Vê-se que, na sucessão soja-milho, a soja é que acidifica o solo, e, com maior agravante, numa profundidade mais difícil de ser corrigida, quando comparada com a acidez gerada na superfície do solo pelo adubo nitrogenado. É interessante notar que, se na sucessão soja-milho, forem produzidas 3 t de milho para cada t de soja colhida, a acidez gerada pela FBN em subsuperfície é zerada pela alcalinidade liberada com a absorção de N-nítrico. Neste caso, supondo que o milho absorveu todo o nitrogênio na forma nítrica. O milho e as gramíneas, em geral, são os mitigadores

da acidez em subsuperfície. Assim, pode-se dizer que, para obter alta produtividade de soja, é preciso, antes, obter alta produtividade de milho e/ou de outras gramíneas, bem adubadas com nitrogênio.

A Tabela 2 mostra, ainda, que para a produção de 100 sc/ha de soja e de 150 sc/ha de milho são necessários 1.285 kg de carbonato de cálcio, equivalentes a quase 2 t de calcário por ha / ano, apenas para corrigir a acidez gerada pela ureia e pela FBN. Para corrigir o perfil até 100 cm de profundidade, como fizeram os campeões de produtividade nos EUA, a dose deverá ser, com certeza, muito superior. E o ideal é que esta dose seja calculada e aplicada segundo um programa de longo prazo e monitorado com amostragens coletadas a 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm de profundidade.

Importância da matéria orgânica no plantio direto

A Figura 7 mostra um trabalho realizado pela Fundação MT que evi-

Figura 7



Diferença na produtividade entre os manejos soja/pousio (acima) e soja/braquiária (abaixo).
Fonte: Zancanaro (2016). Figura 7.

dencia a importância do manejo da cobertura vegetal na produtividade da soja. O tratamento soja/pousio, sem cobertura vegetal há 7 anos, produziu 29 sc/ha de soja, ou seja, 30 sc/ha a menos que o tratamento soja/braquiária, que produziu 59 sc/ha. Entre as possíveis explicações para o melhor desempenho do tratamento soja/braquiária pode-se citar o efeito alcalinizante obtido com a absorção de nitrogênio nítrico pela braquiária, assim como a complexação do alumínio pelos ácidos orgânicos em formas menos tóxicas (Fig. 8). Lamentavelmente, não foram realizadas análises químicas do perfil do solo, as quais poderiam ajudar no entendimento dos resultados observados.

Efeito de extrato de mucuna cinza no desenvolvimento radicular de soja em solução nutritiva.
Fonte: Carvalho e Miyazawa (2008).



Concluo este artigo sobre toxicidade de alumínio alertando para a necessidade da utilização da calagem para neutralizar a acidez gerada pela FBN no sistema soja-milho. Lembro ainda que, para obter altas produtividades de soja é preciso, antes, obter altas produtividades de milho ou de gramíneas de cobertura - culturas que ajudam a mitigar a acidez em subsuperfície gerada no sistema soja-milho.