



www.paces.com.br

Efeito da localização de nutrientes em profundidade para o crescimento radicular.

Orientadores: Prof. Dr. José Laércio Favarin
Prof. Dr. Paulo César Tavares de Melo

Prof. Dr. Moacyr Corsi

Revisão bibliográfica: Eng. Agr. Carlos Francisco Ragassi,
e-mail: cragassi@carpa.ciagri.usp.br,
fones: (19) 9791-0025.

Arte final.

Alexandre Machado Saito
Mafes equipamentos agrícola

Novembro de 2007

I. Introdução:

Nos ecossistemas onde há épocas sem chuva, predominam plantas com raízes mais profundas que 1 m, pois apresentam vantagens, como a capacidade de obter água do subsolo, que é abundante, mesmo nos períodos de seca. As plantas, dessa forma, conseguem fazer mais fotossíntese (McCULLEY, et al., 2004).

Trabalhos demonstram a existência de um ecossistema rico e ativo em profundidade nas regiões secas, com macro e microorganismos (SILVA et al., 1989). Dessa forma, entende-se que condições adequadas à vida, como constante umidade e baixa variação de temperatura, ocorrem nas camadas profundas do solo.

No entanto, um dos fatores de maior importância para as plantas é a capacidade de explorar os nutrientes em profundidade. Nutrientes somente são absorvidos pelas plantas quando há água para dissolvê-los. Dessa forma, os nutrientes em profundidade são mais aproveitados do que os nutrientes aplicados em camadas mais superficiais, que secam frequentemente (McCULLEY, et al., 2004).

Nos ecossistemas áridos, embora a camada superficial apresente maior riqueza em nutrientes, camadas mais profundas que 1 m que, devido à formação do solo, apresentam certa riqueza em nutrientes, apresentam grande quantidade de raízes (Figura 1), as quais são tão ou mais ativas na absorção de nutrientes que as raízes da superfície (WIERSUM, 1967).

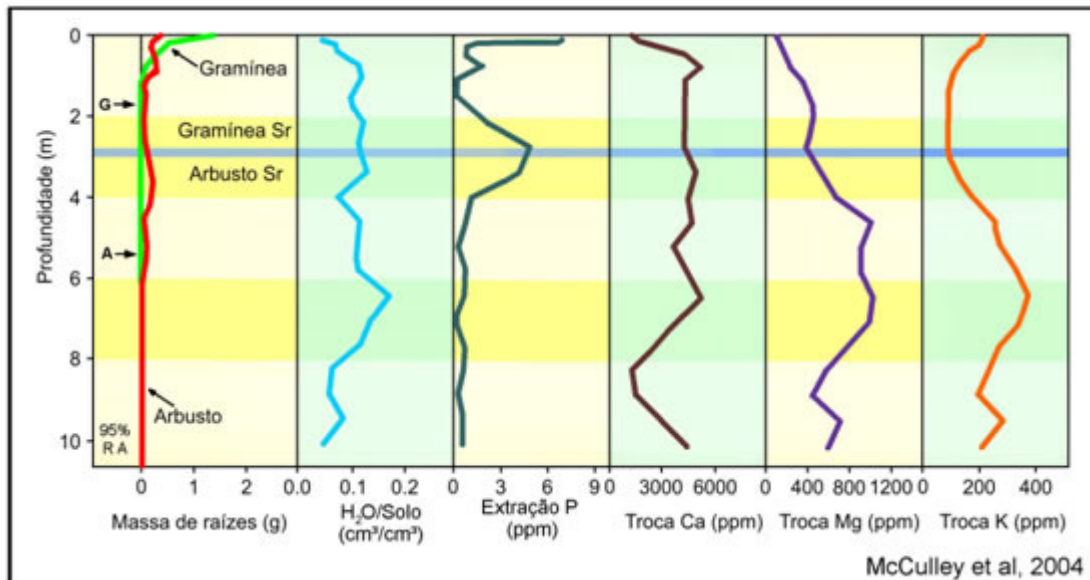


Figura 1. Distribuição de raízes em um perfil de 10 m de profundidade localizado em uma região com 600 mm anuais de chuva, no sudoeste dos Estados Unidos da América do Norte (McCULLEY, et al., 2004). O primeiro quadro retangular retrata a massa de raízes em gramas (root biomass), em seguida: quantidade de água em ml por ml de solo ($\text{cm}^3 / \text{cm}^3$), quantidade extraível de P em mg por kg de solo (ppm) e, finalmente, as quantidades de Ca,

Mg e K trocáveis, também em mg por kg de solo. Observa-se grande quantidade de raízes próxima aos 4 m de profundidade, proporcionadas pela riqueza de nutrientes, principalmente o fósforo (P). As letras G e A seguidas por uma flecha representam a camada na qual estão presentes 95% do sistema radicular, sendo, G e A, gramínea e arbusto, respectivamente. A Faixa azul representa a profundidade média em que as plantas absorvem nutrientes, que foi obtido por um método de pesquisa que utiliza o elemento químico Estrôncio, sendo indicada por Gramínea Sr e Arbusto Sr.

Em um trabalho com alfafa, Fox & Lipps (1960) verificaram que, em época seca, quando a camada superficial do solo secava, 3% do total de raízes, que se localizavam na camada de dois a quatro metros de profundidade, eram responsáveis por 62% da absorção de nutrientes pela planta.

A partir do que foi exposto, pode-se concluir que as raízes crescem preferencialmente nas regiões que contêm concentrações altas e favoráveis de nutrientes (DREW, 1975). No entanto, alguns nutrientes possuem maior efeito sobre o crescimento das raízes.

Com uso de uma membrana especial, que permitia a passagem da raiz, mas não permitia a passagem da solução nutritiva, Drew (1975) isolou três segmentos da raiz de uma mesma planta, colocando-os em contato com soluções nutritivas diferentes. Dessa forma, o autor provocou condições em que a raiz encontrava falta de um nutriente no terço superior e inferior e presença de todos os nutrientes no terço médio. Foram realizados experimentos com fósforo, nitrogênio na forma de nitrato, nitrogênio na forma de amônio e potássio, obtendo os resultados da Figura 2.

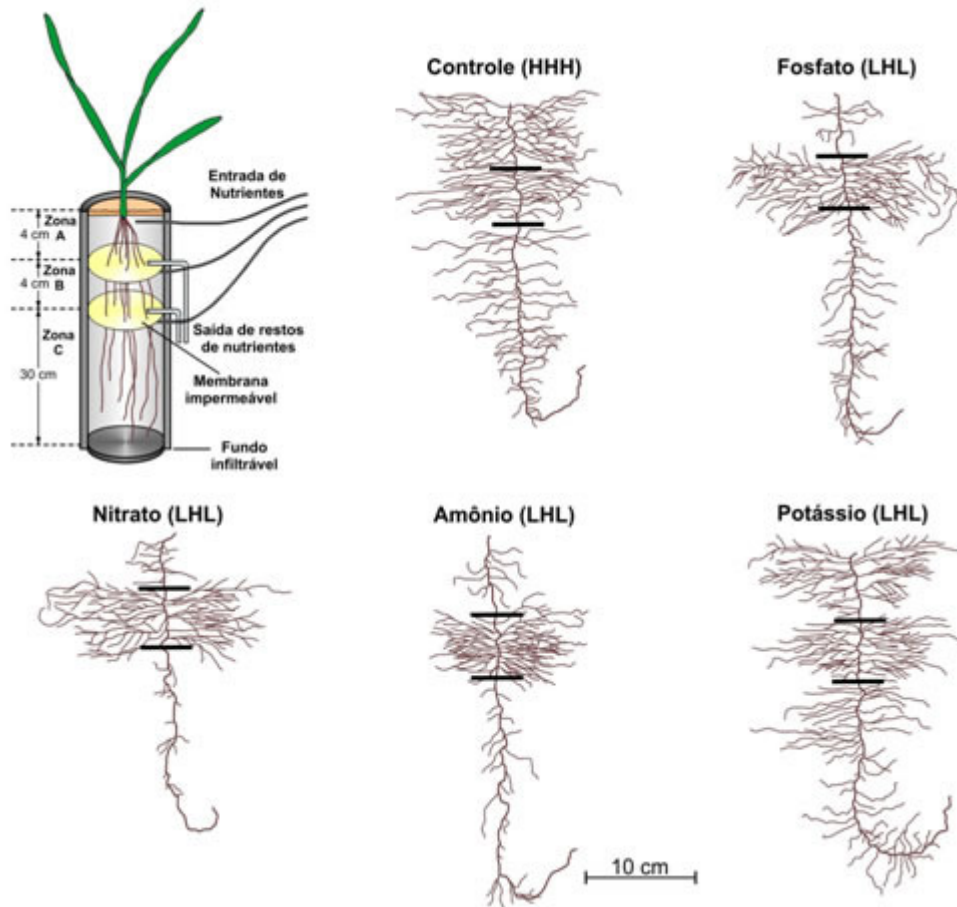


Figura 2. Efeito do suprimento localizado de fósforo, nitrato, amônio e potássio sobre a forma das raízes. A letra H (high = alto, em inglês) significa que havia nível adequado do nutriente naquela posição, enquanto a letra L (low = baixo, em inglês), indica que o teor daquele nutriente era baixo. As plantas controle (HHH) tiveram as três partes da raiz nutrida com todos os nutrientes em nível adequado. As outras raízes (LHL) receberam a solução completa de nutrientes somente na parte central. Deve-se notar a semelhança entre as plantas controle e as plantas no tratamento com nível baixo de potássio nas extremidades (DREW, 1975).

Observou-se que as raízes cresceram bem nos locais com presença de todos os nutrientes. Onde faltou fósforo ou nitrogênio, as raízes não se desenvolveram bem, acumulando-se nas faixas onde esses nutrientes estavam disponíveis. No caso do nitrogênio, o autor considerou que a fonte do nutriente (nitrato ou amônio) não interferiu no crescimento da raiz. Para o potássio, não houve limitação do crescimento nas faixas com baixo suprimento, indicando que, por apresentar alta mobilidade dentro da planta, o nutriente foi redistribuído, chegando aos locais com baixa disponibilidade.

O contraste existente entre potássio de um lado e nitrogênio e fósforo de outro na promoção do crescimento lateral das raízes permanece inexplicado, visto que os três nutrientes são igualmente considerados móveis na planta (DREW, 1975). É possível que quantidades suficientes de potássio sejam

translocadas dentro da raiz de uma zona para outra para permitir o crescimento lateral ótimo, mas não há evidência de que o potássio é mais móvel que nitrogênio ou que fósforo dentro da raiz. Uma explicação alternativa é de que concentrações muito baixas do potássio no meio são suficientes para o crescimento lateral da raiz (DREW, 1975). Outra observação feita pelo autor é de que a aplicação localizada de nitrogênio e fósforo em um solo deficiente nesses nutrientes somente promoveu a proliferação de raízes quando ambos os nutrientes estavam presentes no mesmo local, ou seja, a omissão de um único nutriente essencial para o crescimento da raiz tem efeitos significantes mesmo na presença dos outros em grande quantidade. O autor finaliza seu trabalho ressaltando que se o crescimento lateral das raízes for promovido somente nas camadas superficiais do solo, por aplicar-se maiores concentrações de nutrientes lá, essas raízes superficiais serão suscetíveis ao secamento da superfície do solo com efeitos negativos no crescimento das plantas e no rendimento das culturas.

Por outro lado, pode-se entender a essencialidade de fósforo e nitrogênio para o crescimento radicular, embora esses elementos sejam móveis dentro da planta, como um mecanismo de adaptação desenvolvido pela planta. Nesse sentido, durante a evolução, as plantas teriam “aprendido” que só vale à pena investir energia na produção de raízes nas regiões em que esses macronutrientes estão disponíveis, pois de nada adiantaria uma alta produção de raízes se elas não possibilitarem a nutrição adequada com esses elementos, necessários em grande quantidade.

Além de nitrogênio e fósforo, outros nutrientes são necessários em profundidade para que haja crescimento radicular. Eles serão apresentados a seguir.

II. Boro:

O boro na planta constitui as membranas celulares e a parede celular e é responsável pelo transporte de açúcares das regiões produtoras (fonte) às regiões consumidoras (dreno). É um elemento praticamente imóvel no floema (fluxo folha – raiz) e não chega por essa via às regiões de crescimento na ponta da raiz, que precisam desse nutriente para formar e alongar as células.

Dessa forma, diversos trabalhos de pesquisa demonstram benefícios muito grandes da aplicação desse nutriente em profundidade para o crescimento do sistema radicular, uma vez que é parte integrante de cada nova célula (lamela média, parede celular...), formada durante o crescimento das raízes.

Outro fator importante é o enfraquecimento das membranas e paredes celulares na falta de boro, que permite vazamento do conteúdo celular, rico em açúcares e aminoácidos. Quando esses compostos vazam no solo, os patógenos são atraídos em direção às raízes, que, devido à falta de boro, não apresentam

parede celular forte o bastante para impedir a instalação do patógeno. Conseqüentemente, as doenças radiculares ocorrem, causando prejuízos.

O Boro é imóvel na planta, isto é, não se move das folhas ou de outros órgãos para atender a necessidade do crescimento, dessa forma, os sintomas de deficiência ocorrem em tecidos em crescimento (meristemas florais e vegetativos, pólen, fruto, raízes). Entretanto, para toda regra há exceções e o Boro é móvel no floema de algumas famílias de plantas: *Rosaceae*, *Oleaceae*, *Apiaceae*, *Celastraceae*, *Scrophulariaceae* e *Rubiaceae*, sendo que, dessa última, o gênero *Coffea* (café) não está incluído. Na maioria das outras, o B é realmente imóvel (MALAVOLTA, 2006).

O boro é um elemento essencial para todas as plantas vasculares. Nem fungos nem algas de água doce necessitam desse elemento. A necessidade de boro foi uma característica adquirida com a evolução (McCLENDON, 1976) e, primariamente, sua função estava ligada à lignificação e à formação do xilema (LEWIS, 1980).

Grande parte do boro das plantas superiores é complexado na parede celular (THELLIER et al., 1979), principalmente na fração de hemicelulose e nos precursores da lignina (LEWIS, 1980). A quantidade exigida de boro é maior nas dicotiledôneas que nas monocotiledôneas (gramíneas). O teor de boro na parede das células de raiz de monocotiledôneas é de 3-5 µg/g de massa seca (ex: trigo), enquanto que nas dicotiledôneas esse teor é de 30 µg/g (ex: girassol) (TANAKA, 1967). A função do boro é similar à do cálcio na regulação de síntese e na estabilização de determinados componentes da parede celular e também da membrana plasmática (MARSCHNER, 1986).

Uma das respostas mais imediatas a deficiência de boro é a inibição ou a paralisação do crescimento da raiz principal e das raízes laterais. Após 3 horas da interrupção do fornecimento de boro o crescimento das raízes é reduzido, após 6 horas, a inibição é severa e, após 24 horas o crescimento é paralisado. Doze horas após o restabelecimento do suprimento de boro o crescimento das raízes volta a ser rápido.

Apesar da ação do boro sobre as plantas ainda merecer amplos estudos e discussões, têm-se evidenciado em numerosos trabalhos os efeitos desse micronutriente no desenvolvimento radicular (CASTRO & YAMADA, 2002).

Estudos iniciais revelaram que o boro estimula o enraizamento de estacas mais pela promoção do desenvolvimento das raízes do que pela indução da iniciação dos primórdios radiculares (HEMBERG, 1951).

GAUCH & DUGGER Jr. (1953) mostraram evidências convincentes da hipótese de que uma via do boro envolve reações com açúcares para formar um complexo borato-açúcar ionizável, que passa através das membranas celulares mais rapidamente do que moléculas de açúcar não ionizadas, sem o borato, sendo translocado mais rapidamente para células de crescimento. Os autores sugerem que sintomas de deficiência de boro são uma expressão da deficiência

de açúcar no câmbio, botões florais, caule e raízes, e que, na ausência de boro, carboidratos podem ficar concentrados nas regiões da sua síntese.

Autores como EATON (1940), MURRAY et al. (1957) e WEISER & BLANEY (1960) afirmaram que a presença do boro não influi na iniciação do enraizamento das estacas, mas é essencial para seu posterior crescimento. Folhas de plantas deficientes em boro apresentaram, comparativamente, maiores concentrações de açúcares e amido; contudo, a concentração nos ramos mostrou-se baixa. Isso indica que a presença de boro em quantidade adequada é necessária à translocação dos açúcares das folhas para os ramos. Utilizando-se sacarose e boro juntos e separadamente, em solução nutritiva, observou-se estreita dependência do boro na translocação do açúcar (GAUCH & DUGGER Jr., 1953).

A adubação boratada é incrementada via solo com o objetivo de aprofundar o sistema radicular das plantas e aumentar o volume de solo explorado pelas raízes. Conseqüentemente, aumenta a disponibilidade de água e nutrientes, minimiza os danos provocados pelo déficit hídrico e otimiza o aproveitamento dos fertilizantes, por meio de uma maior superfície de contato das raízes e da reciclagem de nutrientes pelas raízes profundas (CABRERA, 2006). No ano de 1999 esse autor montou um ensaio com o objetivo de avaliar o desenvolvimento do sistema radicular de porta-enxerto de limoeiro Cravo em diferentes doses de boro no solo (0, 1, 2 e 3 ppm de boro). As plantas foram cultivadas em tubo de PVC de 4 polegadas de diâmetro e 1,2 m de comprimento, e a fonte de boro empregada foi o solubor argentino (Figura 3).



Figura 3. Efeito de doses de boro no desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de limoeiro Cravo. Da esquerda para a direita, omissão de boro, 1, 2 e 3 ppm (CABRERA, 2002).

A Figura 4 provém de um experimento similar.



Figura 4. Efeito da deficiência de boro sobre o crescimento radicular de amendoim. Cada segunda planta foi cultivada com omissão de boro (PRIMAVESI, 2002).

Com esses resultados fortaleceu-se a idéia do emprego do boro nas áreas comerciais de citros com problemas de “amarelinho” e também na implantação dos pomares.

No caso de implantação de pomares novos, a cova é aberta com brocas utilizadas para fazer buracos para construção de cerca (Figura 5), possuindo as seguintes dimensões: 1,2 m de profundidade e 0,4 m de diâmetro. Essa cova é adubada com 1,5 kg de gesso agrícola e 0,5 kg de termofosfato com 0,4% de boro (Yoorin B). O adubo e o gesso são misturados ao solo e preenchem todo perfil do buraco. A vantagem dessa mistura é que essas fontes não têm efeito salino, fornecem fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, boro e silício e os resultados de campo são surpreendentes (Figura 6). Deve-se tomar o máximo de cuidado para efetuar uma mistura bem homogênea e, assim, evitar toxidez de boro nas mudas jovens.

Figura 5. Implantação de pomar com abertura de cova com broca (CABRERA, 2002).

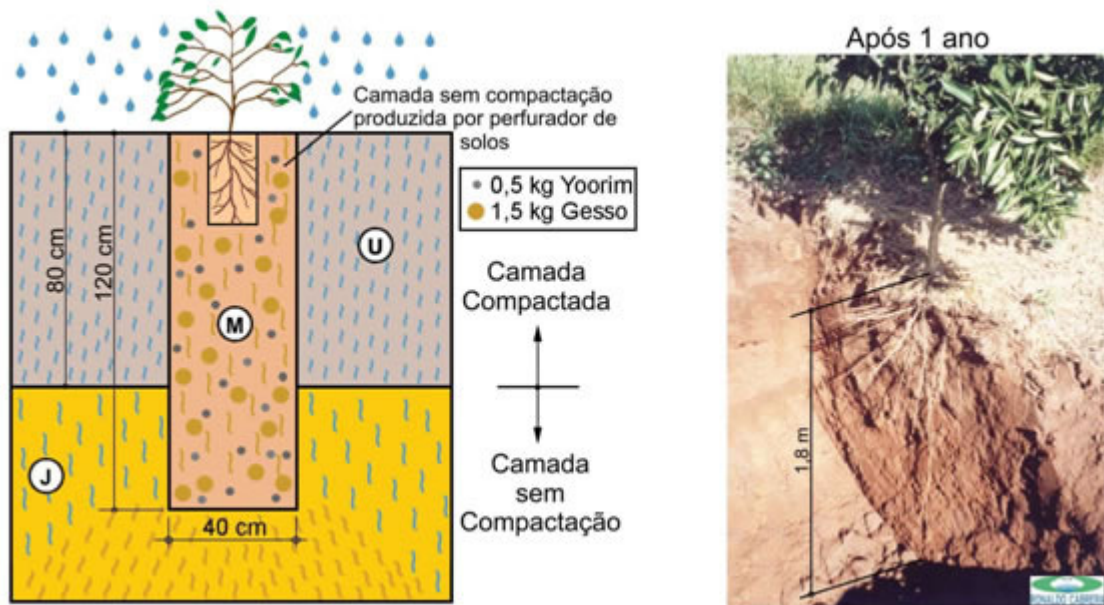


Figura 6. Em planta de laranja com um ano de idade o sistema radicular atingiu 1,8 m de profundidade (CABRERA, 2002).

III. Cálcio:

O cálcio é o elemento predominante no complexo de troca do solo, exceto em solos extremamente ácidos, onde cede lugar para o alumínio (MALAVOLTA, 2006). A regra sempre é: teor de Ca alto está associado a baixo teor de Al e Al alto jamais ocorrerá se o Ca estiver alto.

O movimento do cálcio no xilema em direção da parte aérea é unidirecional, ou seja, muito pouco caminha na direção contrária, para as raízes, transportado pelo floema (MALAVOLTA, 2006).

A baixa redistribuição do cálcio, ou imobilidade no floema, característica que partilha com o boro, é devida, pelo menos em parte, ao fato de que as formas predominantes do cálcio em muitas espécies de plantas são insolúveis em água, como o pectato de cálcio, que compõe a parede celular. Dessa forma, conforme as células crescem, após a multiplicação, precisam constantemente de cálcio para a formação da parede (MALAVOLTA, 2006).

O cálcio ligado como pectato, na parede celular, é essencial para seu fortalecimento e dos tecidos formados. A proporção de pectato de cálcio na parede celular é muito importante para a resistência do tecido a infecções causadas por fungos e bactérias.

Segundo Marschner (1995), os principais impedimentos que restringem a penetração de raízes no subsolo, prejudicando a absorção de água e nutrientes, são aeração deficiente, impedimentos mecânicos e acidez. No caso da acidez, os principais fatores são deficiência de cálcio e o excesso tóxico de alumínio, muito mais generalizado que a deficiência de cálcio.

O excesso de alumínio trocável ocorre de forma generalizada em solos ácidos. Sua ação se faz sentir nas raízes das plantas, que se alongam mais lentamente. Mais tarde elas engrossam e não se ramificam normalmente; as pontas das raízes desintegram e adquirem cor marrom. As raízes adventícias proliferam enquanto a coroa da planta estiver viva (REID, 1976). Em estágios mais avançados da toxidez, a parte aérea também é danificada, existindo correlação estreita entre a massa das raízes e a massa da parte aérea das plantas.

No Brasil, a toxidez de alumínio é de grande importância, sendo de ocorrência generalizada na maior parte dos solos (OLMOS e CAMARGO, 1976). A calagem pode resolver o problema na camada superficial do solo, mas dificilmente promoverá correção no subsolo.

A aplicação de calcário leva ao acúmulo por tempo indeterminado de Ca e Mg na superfície. O movimento do Ca perfil abaixo depende do ânion acompanhante, como Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} , os quais formam pares com aquele cátion (MALAVOLTA, 2006). O Ca levado para baixo desloca o Al no complexo de troca, cuja saturação diminui, permitindo maior desenvolvimento das raízes graças ao melhoramento do ambiente na subsuperfície (RITCHEY *et al.*, 1983). Quando o íon acompanhante é o SO_4^{2-} , o que ocorre com o gesso (CaSO_4), o Al deslocado pelo Ca para a solução do solo forma o par iônico AlSO_4^+ , que não afeta a planta (PAVAN, 1981). Além disso, exsudados de raízes também podem complexar o Al (MALAVOLTA, 2006), protegendo a planta.

Os dois usos principais do gesso são: fonte de S e neutralização do Al em subsuperfície (MALAVOLTA, 2006). Quando o gesso é empregado como fonte de S, as doses são em geral 20 a 40 kg do elemento por hectare. As doses utilizadas para neutralizar a acidez de subsuperfície são mais pesadas. Quando a acidez do subsolo é controlada pelo gesso, as raízes aí se desenvolvem, a cultura sofre menos com a seca e aproveita mais os adubos, particularmente o N e o K (MALAVOLTA, 2006). Existem diversos relatos na literatura, nos quais a

aplicação superficial do gesso seguida pela lixiviação até o subsolo ácido resultou em maior absorção de água e de nutrientes pelas raízes (ALCORDO & RECHICGL, 1993; SHAINBERG, et al., 1989; SUMMER, 1993). Esses efeitos são geralmente atribuídos ao aumento de Ca e à diminuição do alumínio tóxico em subsuperfície, levando-se em consideração que tanto o excesso de alumínio quanto a deficiência de cálcio são deletérios ao desenvolvimento radicular (RITCHEY, et al., 1980; 1982).

A Figura 7, de PAVAN & BINGHAM (1986) presente em MALAVOLTA (2006) mostra o efeito comparado do calcário e do gesso na distribuição do sistema radicular da macieira. É visível o efeito benéfico do gesso no aprofundamento das raízes.

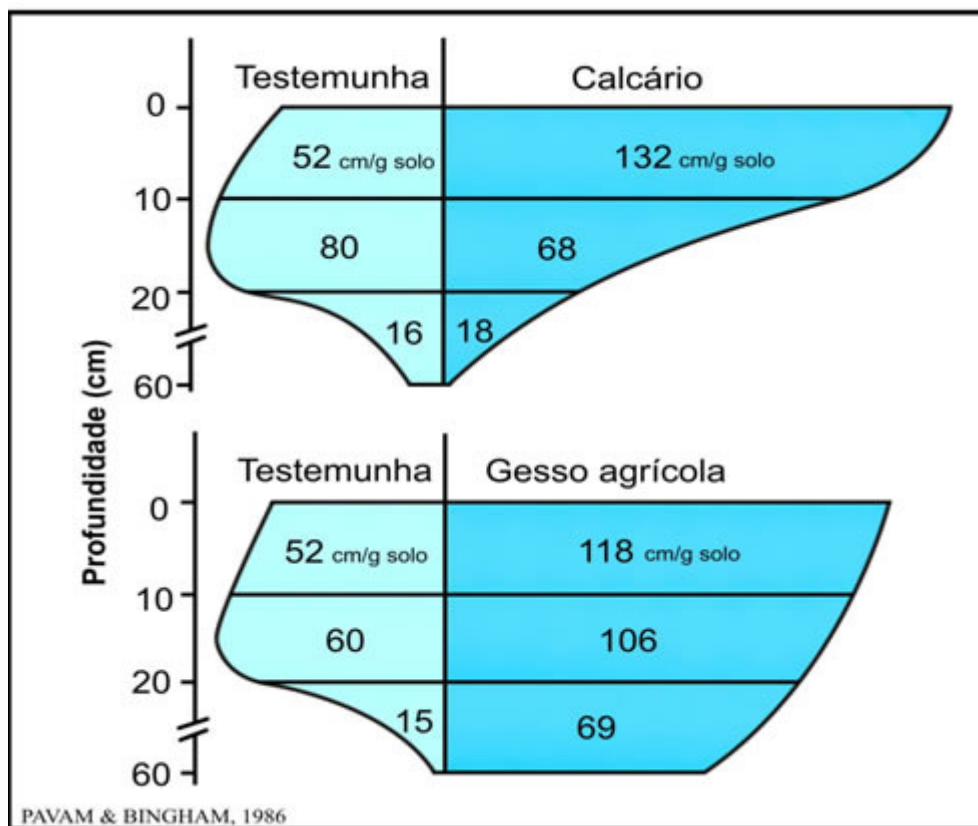


Figura 7. Efeito do calcário e gesso na distribuição do sistema radicular de macieira (cm de raiz por grama de solo) (PAVAN & BINGHAM, 1986 em MALAVOLTA, 2006).

Na Figura 8, de GUIMARÃES (1988) em MALAVOLTA (2006), vê-se a resposta do cafeeiro ao calcário e ao gesso: em média o gesso na presença de 1,5 t de calcário/ha aumentou a produção em 18 sacas/ha em 5 safras, isto é, 80 sacas no total. As análises de solo e folha e o exame dos perfis de solo mostraram que o gesso funcionou aprofundando as raízes e como fonte de Ca e S (MALAVOLTA, 2006).

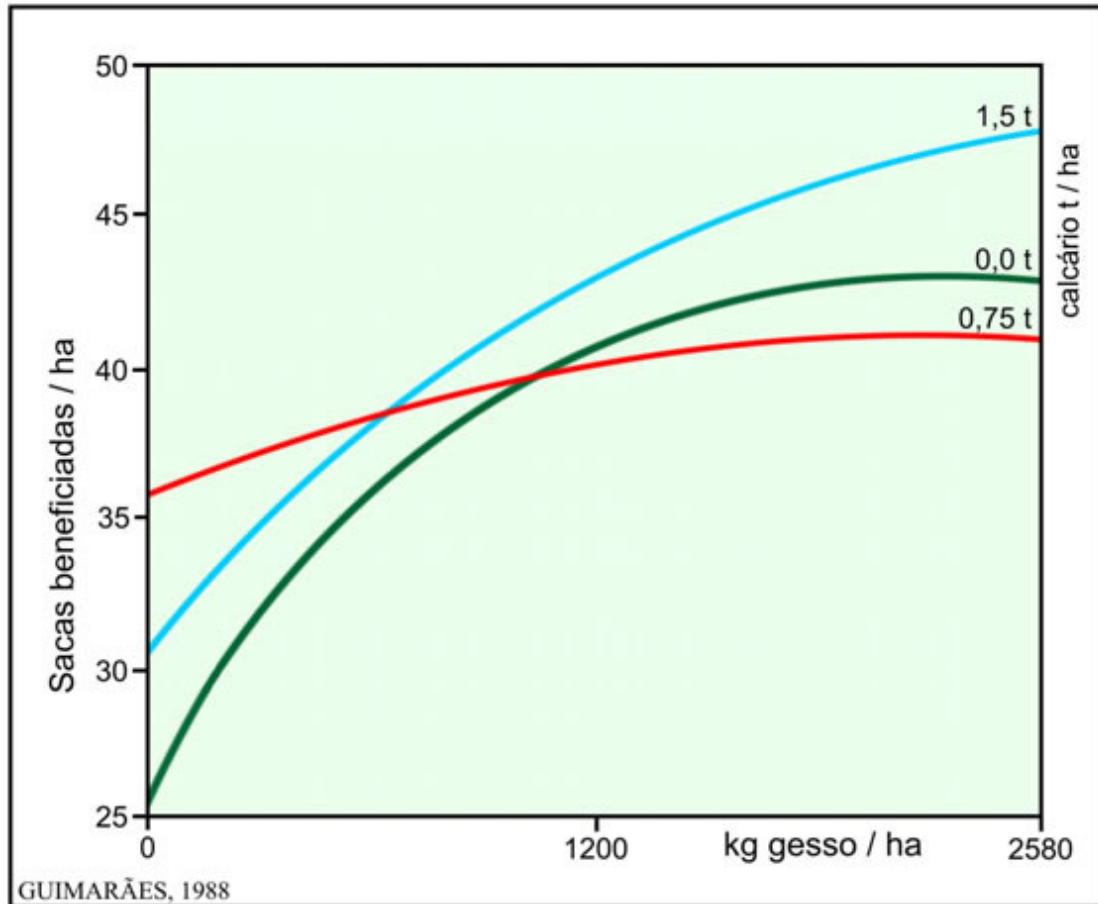


Figura 8. Resposta do cafeeiro (média de 5 safras) ao gesso e ao calcário no cerrado de MG.

Quando se corta o suprimento de cálcio em plantas crescendo em soluções nutritivas, o processo de extensão das raízes cessa dentro de poucas horas. Embora o cálcio esteja envolvido na divisão celular, a paralisação do crescimento radicular na ausência de cálcio é, primeiramente, um resultado da inibição do processo de alongação celular (MARSCHNER, 1995).

Nas extremidades das raízes, a secreção de mucilagens depende da concentração extracelular de cálcio. A remoção do cálcio extracelular, ou seja, do apoplasto, reduz drasticamente a atividade secretora das células das extremidades das raízes e também bloqueia o geotropismo nas raízes (BENNET, *et al.*, 1990).

O fato do cálcio ser imóvel no floema, não se translocando das partes aéreas para as partes mais novas das raízes em desenvolvimento, faz com que o cálcio requerido para o crescimento de raízes deva ser absorvido da solução externa nas zonas apicais. Marschener (1995) ressalta que mesmo quando uma quantidade adequada de calcário é misturada apenas ao solo superficial, as raízes são severamente restringidas em sua capacidade de penetrar em subsolos ácidos.

Se faltar cálcio, o plasmalema, ou seja, a parte interna da membrana celular perde sua semipermeabilidade e torna-se permeável, ou furada,

permitindo a entrada de íons, nutritivos ou não, conforme sua quantidade no solo. A raiz perde sua seletividade, levando a transtornos fisiológicos muito sérios à planta. Quando faltar o cálcio, indispensável à raiz, os mais estranhos sintomas de deficiência e intoxicação aparecem.

O acúmulo de alumínio em quantidades tóxicas, que ocorre principalmente abaixo de camadas adensadas de solo, pelas quais os adubos e corretivos, especialmente calcário e gesso, não passam ou passam com dificuldade, faz com que muitas plantas não consigam desenvolver suas raízes (PRIMAVESI, 2002).

Os íons que são absorvidos pelas células das raízes vão para o plasma celular e atuam não somente como nutrientes, mas também na hidratação da célula. Ou seja, para a raiz absorver água do solo, precisa apresentar uma maior concentração de íons que a solução do solo. Os íons monovalentes apresentam uma camada de hidratação mais espessa, portanto possuem maior capacidade de armazenar água que os íons bi e trivalentes (Figura 9), dessa forma, íons como o Na^+ e K^+ são tidos como hidratantes dentro da célula, enquanto o Ca^{2+} e o Al^{3+} são tidos como desidratantes (PRIMAVESI, 2002). Tanto uma hidratação excessiva como uma desidratação exagerada da célula é prejudicial e somente o equilíbrio de íons mono, bi e trivalentes faz com que a célula da raiz possa atingir uma hidratação ótima (PRIMAVESI, 2002).

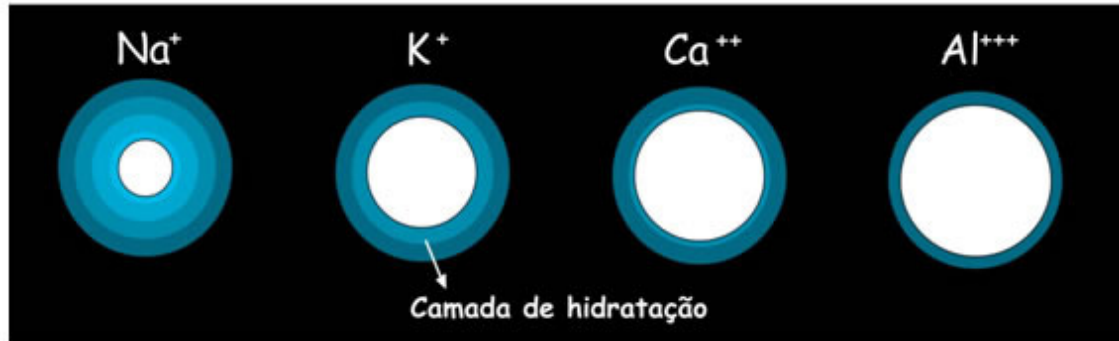


Figura 9. Camada de hidratação de alguns íons (PRIMAVESI, 2002).

Nesse sentido, vê-se que a toxidez causada por alumínio não se deve à presença desse elemento, mas sim à sua predominância na solução do solo e, analogamente, esse fenômeno não está restrito ao alumínio, mas generalizado a qualquer elemento que estiver acima da sua proporção adequada. Sendo assim, o potássio ou o cálcio, quando fornecido como íon único é tão tóxico para a célula vegetal quanto o alumínio, em outras palavras, toda solução monossalina é tóxica (PRIMAVESI, 2002). Não se deve, portanto, realizar a aplicação de corretivos com base no teor absoluto de alumínio no solo, mas sim visando adequar a sua proporção em relação aos demais cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}).

No Brasil, já existem muitas variedades adaptadas a conviver com concentrações maiores de alumínio, como quase todas de trigo, várias de soja, milho, dentre outras (PRIMAVESI, 2002). Além da tolerância a maiores

saturações da CTC com alumínio, muitas espécies desenvolvem mecanismos de proteção, como capacidade de armazenar o alumínio na raiz, protegendo a parte aérea de maiores concentrações. Outras plantas excretam substâncias que aumentam o pH na rizosfera, precipitando o alumínio (PRIMAVESI, 2002). Dessa forma, a maioria das culturas tropicais não é muito sensível ao alumínio, suportando ao redor de 35 a 40% de saturação.

$$\text{Saturação por Al} = m\% = \frac{\text{Al}^{3+}}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+})}$$

A pesquisa mostra que a planta aceita uma faixa larga de variação na relação dos cátions na saturação por bases (MALAVOLTA, 2006). Assim, em solos altamente intemperizados, bastariam entre 25 e 30% de saturação de Ca (MALAVOLTA, 2006).

O sucesso na aplicação de qualquer tipo de adubo ou corretivo depende da estrutura grumosa do solo, pois só se consegue uma correção adequada e homogênea quando o solo não apresenta camadas adensadas, através das quais os corretivos não passam. A agregação do solo também é essencial para se obter abastecimento adequado de água, ar, disponibilidade de nutrientes e desenvolvimento das raízes.

Do exposto, deve-se concluir que a correção deve ser realizada até a profundidade que se almeja o crescimento radicular. Onde não houver cálcio, a raiz não crescerá, pois esse nutriente não será transportado de outras regiões da planta para nutrir as raízes em formação.

Conclusão

A correção química em profundidade no solo deverá ser baseada em:

- Calagem, elevando-se inicialmente a saturação de bases até o valor de 40%, que pode ser adotado como referência (FAVARIN, 2007 – comunicação pessoal). Como o teor adequado de magnésio para a maioria das culturas é de 5 a 8 mmolc dm⁻³, a calagem fornecerá o cálcio e também magnésio em teores adequados.
- Boro, elevando-se os níveis para 0,6 mg/dm³ (MALAVOLTA, 2006) por todo perfil. Há recomendações para até 1 mg/dm³ e relatos de que valores de 3 mg/dm³ não provocaram toxidez (não documentados). Há ainda muito o que se descobrir a respeito dos micronutrientes e há possibilidade de que outros, além do boro, sejam importantes para o crescimento radicular, visto que todos são praticamente imóveis na planta. Dessa forma, recomendam-se aplicar fontes de boro que levam em sua formulação outros micronutrientes. Se a dose necessária for muito alta, deve-se usar uma fonte de boro complementar de baixa solubilidade, como a Ulexita.
- O fósforo deve ser aplicado por todo perfil, com ênfase nas camadas inferiores. As raízes buscam o fósforo e, ao encontrarem uma camada

rica, se proliferam acentuadamente. É interessante que haja grande disponibilidade de fósforo em toda região subsolada, aumentando-se a concentração conforme se aumenta a profundidade, para estimular a raiz a descer.

- O nitrogênio não é necessário ser aplicado em profundidade, pois, apesar de ser essencial para que haja resposta da raiz, ele possui mobilidade alta no solo e, se aplicado na superfície, certamente será levado a camadas ainda mais profundas.

Referências bibliográficas:

ALCORDO, I. S. & RECHCIGL, J. E. Phosphogypsum in agriculture: a review. **Adv. Agron.** 59:55-118, 1993.

BENNET, R.J. et al. A role for Ca^{2+} in the cellular differentiation of root cap cells: a re-examination of root growth control mechanisms. **Environ. Exp. Bot.** 30, 515-523, 1990.

CABRERA, R.A.D. Laranja In: Workshop relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças. **Anais...** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2002. Disponível em: <<http://www.ipni.org.br>>. Acesso em 16 ago. 2007.

CABRERA, R.A.D. Manejo sustentável na citricultura. In: WORKSHOP SOBRE MANEJO SUSTENTÁVEL NA AGRICULTURA. **Anais...** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2006. Disponível em: <<http://www.ipni.org.br>>. Acesso em 16 ago. 2007.

CASTRO, P.R.C. e; YAMADA, T. Boro e hormônios no desenvolvimento radicular. In: Workshop relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças. **Anais...** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2002. Disponível em: <<http://www.ipni.org.br>>. Acesso em 16 ago. 2007.

DREW, M.C. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. **New Phytologist.** v.75, n.3, p. 479-490, nov. 1975.

EATON, F.M. Interrelations of the effects of boron and indoleacetic acid on plant growth. **Bot. Gaz.**, v.101, p.700-705, 1940.

FOX, R.L., LIPPS, R.C. Distribution and activity of roots in relation to soil properties. **Trans. 7th. Int. Congr. Soil Sci.**, Madison III, 260-267, 1960.

GAUCH, H.G.; DUGGER Jr., W.M. The role of boron in the trans-location of sucrose. **Plant Physiology**, v.28, p.457-466, 1953.

- GUIMARÃES, P.T.G. 1988 Nutrição e adubação do cafeeiro. Em: "Curso de atualização em fertilidade do solo", p. 123-166. ANDA, POTAFOS, ESACMA. Machado. 308 p.
- HEMBERG, T. Rooting experiments with hypocotyls of *Phaseolus vulgaris* L. **Physiol. Plant.**, v.11, p.1-9, 1951.
- LEWIS, D.H. Boron, lignification and the origin of vascular plants – a unified hypothesis. **New Phytologist** 84: 209-229, 1980.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres. 2006. 638 p.
- MARSCHNER H. Mineral nutrition of higher plants. Academic press, London, 1986.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2th ed. London: Academic Press, 1995. 887 p.
- McCLENDON, J.H. Elemental abundance as a factor on the origins of mineral nutrient requirements. **J. Mol. Evol.** 8: 175-195, 1976.
- McCULLEY, et al. Nutrient uptake as a contributing explanation for deep rooting in arid and semi-arid ecosystems. **Oecologia** 141: 620-628, 2004.
- MURRAY, H.R.; TAPER, C.D.; PICKUP, T.; NUSSEY, A.N. Boron nutrition of softwood cuttings of geranium and currant in relation to root development. **Am. Soc. Hort. Sci.**, v.69, p.498-501, 1957.
- PAVAN, M.A. (1981). Toxicity of Al (III) to coffee (*Coffea arabica* L.) in nutrient solution culture and in Oxisols and Ultisols amended with CaCO₃ and CaSO₄.2H₂O. Tese de Doutorado. Universidade da Califórnia. Riverside. 214 p.
- PAVAN, M. A. & BINGHAM, F. T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:993-997, 1982.
- PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. Nobel, São Paulo, 550 p, 2002.
- RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G; LOBATO, E. &CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. *Agron.J.* 72:40-44, 1980.
- RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. & COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizon of savannah Oxisols. *Soil Sci.* 133:378-382, 1982.
- RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. & SOUSA, D. M. G. Relação entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. **R. Bras. Ci. Solo** 7:269-275, 1983.
- SHAINBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A & FEY, M. V. Use of gypsum on soils: a review. **Adv. Soil Sci.** 9:1-111, 1989.

SILVA, S. et al. The microarthropod fauna associated with a deep rooted legume, *Prosopis glandulosa*, in the Chihuahuan desert. **Biol Fertil Soils** 7: 330-335, 1989.

SUMNER, M. E. Gypsum and acid soils: the world scene. **Adv. Agron.** 51:1-32, 1993.

TANAKA, H. Boron adsorption by plant roots. **Plant soil** 27: 300-302, 1967.

THELLIER, M. et al. Borate exchanges of *Lemna minor* L. as studied with the help of the enriched stable isotope and of a (n, α) nuclear reaction. **Plant Physiol.** 63: 283-288, 1979.

WEISER, C.J.; BLANEY, L.T. The effects of boron on the rooting of english holly cuttings. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, v.75, p.707-710, 1960.

WIERSUM, L.K. Potential subsoil utilization by roots. **Plant and soil** XXVII, no 3, dec. 1967.