

ADUBAÇÃO FOSFATADA EM POMARES DE CITROS: AVANÇOS DA PESQUISA

Dirceu Mattos Junior¹

Fernando Cesar Bachiega Zambrosi²

Rodrigo Marcelli Boaretto¹

José Antonio Quaggio²

Heitor Cantarella²

1. INTRODUÇÃO

A citricultura tem se colocado como importante atividade para o setor agrícola e a economia brasileira nas últimas décadas. Atualmente, em área de 550 mil hectares, distribuídos entre pomares novos e adultos, são produzidas anualmente 360 milhões de caixas de laranjas (de 40,8 kg) no Estado de São Paulo, o que representa 20% da produção mundial. Embora a produtividade média local seja de 30 t ha⁻¹, alguns pomares alcançam rendimentos acima de 80 t ha⁻¹, resultado da adoção de inovações tecnológicas, como adensamento de plantios, adubação e irrigação. Esse avanço tem requerido a busca do aumento da eficiência de produção frente aos novos cenários de mercado, cujos desafios fitossanitários e econômicos têm constantemente pressionado os produtores. Assim, boas práticas de manejo das adubações devem ser adotadas devido aos efeitos dos nutrientes minerais sobre o crescimento das árvores, a produtividade e a qualidade dos frutos.

2. BREVE HISTÓRICO

As recomendações de adubação na citricultura brasileira por muito tempo foram realizadas com base nas informações disponíveis em outras regiões produtoras do mundo, destacadamente a Flórida (Estados Unidos). Assim, doses de nitrogênio (N) e de

potássio (K) foram definidas em função da relação de extração desses nutrientes pelos frutos cítricos, ou seja, 1,5 a 2,0 kg t⁻¹ de frutos frescos, na relação 1:1. Essa relação é considerada uma boa aproximação, mas para cultivos em solos com textura muito arenosa e baixa capacidade de retenção de K trocável. Outro fato relevante relacionava-se à baixa necessidade de suprimento de fósforo (P) nos pomares da Flórida. Tal característica decorreu da alta disponibilidade desse nutriente no solo daquela região, originado sobre material rico em sedimentos marinhos. Desta forma, no passado, as doses de P recomendadas nas adubações dos pomares brasileiros eram baixas. Embora as recomendações do Grupo Paulista de Adubação e Calagem para Citros (GPACC, 1988, 1990) já procurassem sanar essas discrepâncias, as doses de P recomendadas para solos com teores médios a muito baixos – P extraído por resina trocadora de íons (P-resina) –, variavam de 30 a 90 g de P₂O₅ por caixa de frutos, ou seja, até 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para pomares com produtividade de 600 caixas ha⁻¹, nos espaçamentos mais tradicionais.

As produtividades modestas alcançadas na época, menores que 30 t ha⁻¹ de frutos, apontavam para a necessidade de revisão das recomendações no manejo de nutrientes nas condições dos solos tropicais predominantemente ácidos e com baixa reserva de nutrientes.

Abreviações: AFAR = Atividade da fosfatase ácida nas raízes; CENA = Centro de Energia Nuclear na Agricultura; EAF = eficiência na absorção de fósforo; IAC = Instituto Agronômico; K = potássio; P = fósforo; K = potássio; GPACC = Grupo Paulista de Adubação e Calagem para Citros; MS = matéria seca; PO₄²⁻ = fosfato; PO₃²⁻ = fosfito.

¹ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Científico, Instituto Agronômico (IAC), Centro de Citricultura Sylvio Moreira, Cordeirópolis, SP.

² Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Científico, Instituto Agronômico (IAC), Centro de Solos e Recursos Ambientais, Campinas, SP.

INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Publicação trimestral gratuita do International Plant Nutrition Institute (IPNI), Programa Brasil. O jornal publica artigos técnico-científicos elaborados pela comunidade científica nacional e internacional visando o manejo responsável dos nutrientes das plantas.

COMISSÃO EDITORIAL

Editor

Luís Ignácio Prochnow

Editores Assistentes

Valter Casarin e Silvia Regina Stipp

Gerente de Distribuição

Evandro Luis Lavorenti

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI)

Presidente do Conselho

Steve Wilson (CF Industries Holdings, Inc.)

Vice-Presidente do Conselho

Mhamed Ibnabdeljalil (OCP Group)

Tesoureiro

Jim Prokopanko (Mosaic Company)

Presidente

Terry L. Roberts

Vice-Presidente, Coordenador do Grupo da Ásia e África

Adrian M. Johnston

Vice-Presidente, Coordenadora do Grupo do Oeste Europeu/Ásia Central e Oriente Médio

Svetlana Ivanova

Vice-Presidente Senior, Diretor de Pesquisa e Coordenador do Grupo das Américas e Oceania

Paul E. Fixen

PROGRAMA BRASIL

Diretor

Luís Ignácio Prochnow

Diretores Adjuntos

Valter Casarin

Eros Francisco

Publicações

Silvia Regina Stipp

Analista de Sistemas e Assistente Administrativo

Evandro Luis Lavorenti

Assistente Administrativo

Renata Fiuza

ASSINATURAS

Assinaturas gratuitas são concedidas mediante aprovação prévia da diretoria. O cadastramento pode ser realizado no site do IPNI: www.ipni.org.br

Mudanças de endereço podem ser solicitadas por email para: rfluza@ipni.net

Esta publicação foi impressa e distribuída com o apoio financeiro parcial das seguintes instituições/empresas:

FERTILIZANTES HERINGER S.A.

YARA BRASIL FERTILIZANTES S.A.

Nº 139 SETEMBRO/2012

CONTEÚDO

Adubação fosfatada em pomares de citros: avanços da pesquisa

Dirceu Mattos Junior, Fernando Cesar Bachiega Zambrosi, Rodrigo Marcelli Boaretto, José Antonio Quaggio, Heitor Cantarella..... 1

Nutrição vegetal e biorregulação no desenvolvimento das plantas

Paulo Roberto de Camargo e Castro, Valdinei Moreira dos Santos, Silvia Regina Stipp..... 9

IPNI em Destaque 16

Divulgando a Pesquisa 18

Painel Agronômico 21

Cursos, Simpósios e outros Eventos 22

Publicações Recentes 23

Ponto de Vista 24

NOTA DOS EDITORES

Todos os artigos publicados no Informações Agronômicas estão disponíveis em formato pdf no website do IPNI Brasil: www.ipni.org.br

Opiniões e conclusões expressas pelos autores nos artigos não refletem necessariamente as mesmas do IPNI ou dos editores deste jornal.

FOTO DESTAQUE



Ganhadores do Prêmio IPNI Brasil em Nutrição de Plantas 2012: Fernando Viero (Jovem Pesquisador) e Dra. Janice Guedes de Carvalho (Pesquisadora Sênior).

3. PESQUISAS EM REDES DE EXPERIMENTOS

Pesquisadores do programa de pesquisa em nutrição dos citros do Instituto Agrônomo (IAC) desenvolveram uma rede de experimentos no campo denominada de “fatoriais NPK”, cujos resultados permitiram a calibração dos teores disponíveis de P no solo extraídos com resina e a definição das classes de respostas dos citros à produção de frutos (CANTARELLA et al., 1992; QUAGGIO et al., 1998).

Curvas de calibração dos resultados da análise química de solo

Resultados ilustrados na Figura 1 demonstram que nos talhões de citros cujos solos apresentavam teores de P iguais ou inferiores a 6 mg dm⁻³ a produtividade das plantas ficou limitada em quase 50% devido à deficiência do nutriente, enquanto nos talhões que mostravam concentrações de P maiores que 20 mg dm⁻³ não houve respostas das plantas à adubação fosfatada, recomendando-se, nesse caso, que a adubação vise apenas a reposição da exportação pelas plantas e a manutenção do teor adequado desse nutriente no solo, evitando gastos desnecessários. Nesse cenário, talhões produtivos localizados em solos com teores de P-resina inferiores a 12 mg dm⁻³ passaram a receber aplicação de até 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (GPACC, 1994).

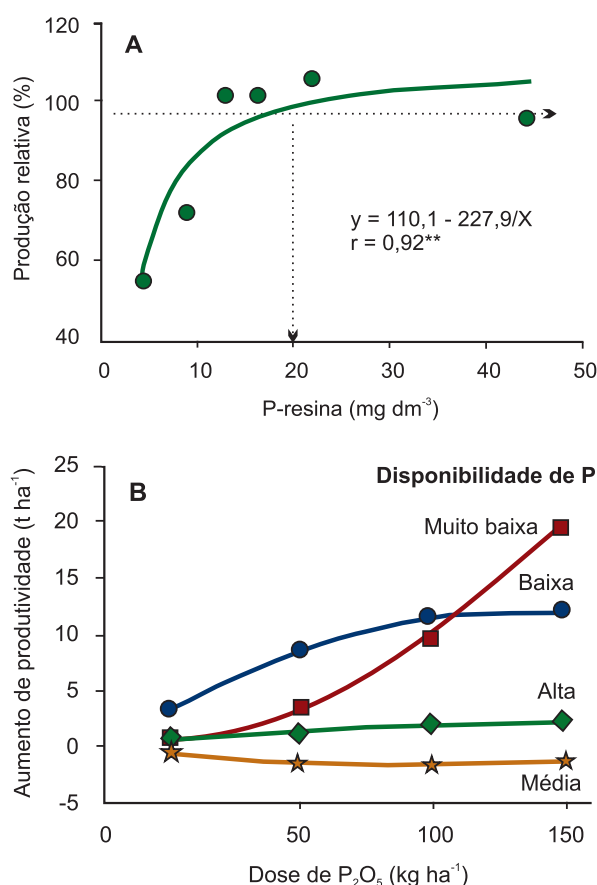


Figura 1. Curva de calibração da produção dos citros em função dos teores de P-resina (A), e incrementos de produtividade devidos à adubação em solos com diferentes classes de disponibilidade do nutriente (B).

Respostas dos citros à adubação

Solucionada parte das limitações relacionadas à definição das doses mais adequadas para as plantas em produção nas condições brasileiras, o programa de pesquisa foi direcionado para

a fase de formação dos pomares, a partir de novos experimentos, denominados “fatoriais NPK formação”.

Estes estudos contribuíram para a diversificação de porta-enxertos na citricultura brasileira, necessária frente à ocorrência de novas doenças e ao aumento do potencial de produção dos pomares irrigados. Esses experimentos demonstraram haver diferenças nas respostas dos citros à adubação fosfatada em função do porta-enxerto empregado (Figura 2). Notou-se que a demanda por P é maior nas copas enxertadas em tangerina ‘Cleópatra’ (*Citrus reshni*), quando comparadas às enxertadas em limão ‘Cravo’ (*C. limonia*) e citrumelo ‘Swingle’ (*Poncirus trifoliata* x *C. paradisi*) (QUAGGIO et al., 2004; MATTOS JUNIOR et al., 2006). Observou-se também que a demanda por P é maior na fase inicial de crescimento das plantas do que na fase de produção de frutos. Isso faz com que o nível crítico de P no solo para as árvores jovens seja superior a 20 mg dm⁻³, como definido para árvores adultas. Estas informações permitiram ajustes no manejo da adubação dos pomares, principalmente nos primeiros anos de plantio no campo, o que proporciona ganhos no crescimento das árvores e na precocidade de produção de frutos.

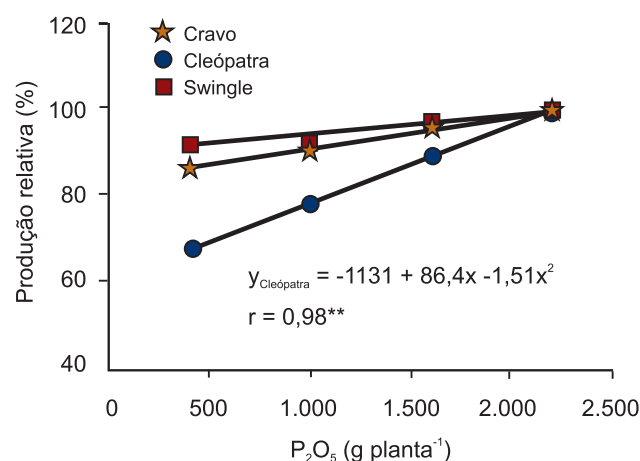


Figura 2. Produção de laranjeiras sobre diferentes porta-enxertos em resposta à adubação com fósforo. Os dados se referem à média de dois locais experimentais e às doses e quantidades totais aplicadas no pomar até o quinto ano após o plantio no campo.

Fonte: Adaptada de Mattos Junior et al. (2006).

4. NOVAS PESQUISAS

Nos novos projetos do IAC foram focados a eficiência de absorção de P e o uso de P pelos citros, considerando-se: a) formas de aplicação do fertilizante fosfatado no sulco de plantio; b) influência dos porta-enxertos na absorção de P e no atendimento da demanda da parte aérea; c) dinâmica do P na planta (remobilização e alocação) em função do porta-enxerto e da disponibilidade do nutriente e d) eficiência do fosfito na substituição do fosfato como fonte do nutriente e seus efeitos no metabolismo e crescimento dos citros.

Esses trabalhos foram definidos quando se constatou que os sintomas da deficiência de P, pouco conhecidos pelo citricultor, ainda eram observados em pomares jovens. As plantas, quando deficientes, mostram folhas maduras com tamanho aumentado, de cor bronzeada, sem brilho, coriáceas, que caem quando a carência é severa. Por isso, os ramos tornam-se desfolhados da base para o ápice (Figura 3), em vista da redistribuição do nutriente das folhas mais velhas para as mais novas, flores e frutos (MATTOS JUNIOR et al., 2005), o que afeta a produtividade devido à redução da área foliar e menor aproveitamento de outros nutrientes do solo pelos citros. Isto ocorre porque as árvores jovens apresentam taxa de crescimento e



Figura 3. Sintomas da deficiência de fósforo em citros: folhas velhas bronzeadas (A), queda devido à deficiência severa (B) e pecíolos retidos após queda de folhas (C).

Fotos: Dirceu Mattos Junior.

demanda por P mais elevada do que as plantas adultas e, ao mesmo tempo, possuem sistema radicular menos desenvolvido, explorando, desta forma, menor volume de solo (QUAGGIO et al., 2005).

Esses estudos contribuem para o entendimento das respostas observadas em condições de campo e auxiliam na definição de subsídios mais sólidos para tomadas de decisão para o manejo nutricional a partir da base de informações obtidas nos programas anteriores de pesquisa (QUAGGIO et al., 2010), conforme destacado nos próximos itens.

4.1. Influência do porta-enxerto e da forma de aplicação de fósforo no solo na absorção do nutriente e no crescimento dos citros

Como a manifestação dos sintomas de deficiência de P tem sido comum em pomares jovens, um dos questionamentos que persiste refere-se ao modo mais eficiente de aplicação do adubo fosfatado no plantio dos pomares (doses e localização do fertilizante).

Atualmente, por ocasião da implantação dos pomares, tem sido recomendado o uso de equipamentos que permitem a aplicação do P em profundidades maiores, abaixo de 0,30 m da superfície do solo (Figura 4). Essa prática contribui para o estabelecimento de pomares mais vigorosos, pois se verifica que o crescimento inicial das laranjeiras é favorecido pela melhor distribuição do fertilizante fosfatado em profundidade no solo, quando comparada à aplicação concentrada na camada superficial (Tabela 1) (ZAMBROSI et al., 201_).

Fatores como interação do P com a matriz do solo, ocorrência em formas orgânicas e baixa taxa de difusão de P na solução, fazem

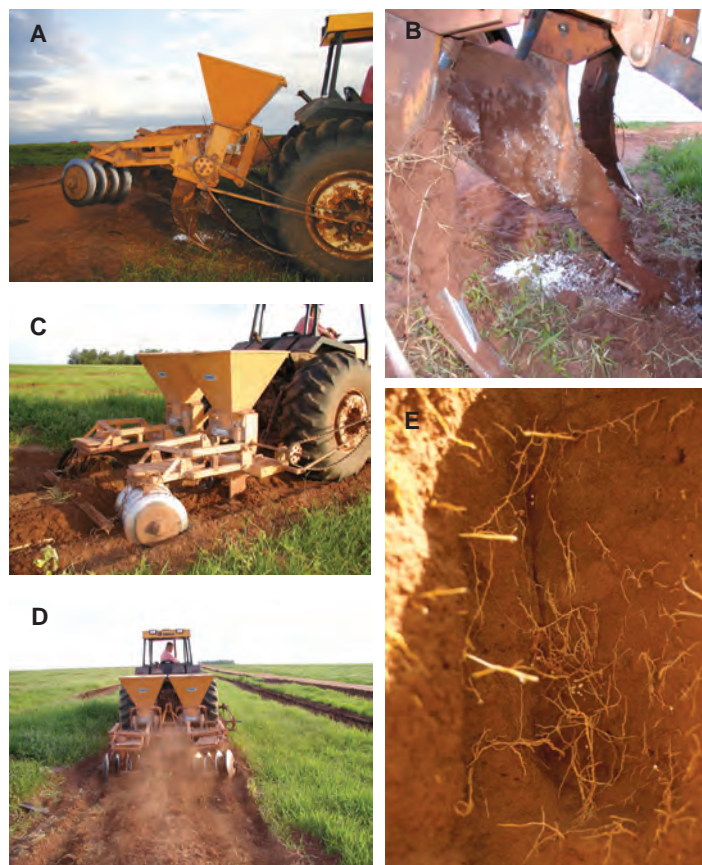


Figura 4. Aplicação de adubo fosfatado em profundidade durante o preparo de faixas na instalação do pomar. Detalhes do equipamento de operação triplice (A e B), operação em campo (C e D) e crescimento de raízes ao longo da linha de incorporação do adubo fosfatado em profundidade (E).

Fotos: José Antonio Quaggio.

com que a disponibilidade do nutriente na rizosfera seja limitada, o que restringe a absorção pelas raízes. Isto se torna mais relevante ao se considerar que as adubações subsequentes nos pomares são localizadas na superfície do solo, onde a baixa umidade do solo durante períodos de veranico causa redução da disponibilidade de P para as plantas.

A distribuição de P nas camadas mais profundas do solo também favorece o desempenho das raízes no processo de absorção, por aumentar a eficiência de absorção de P pelo sistema radicular ($EAP = \text{mg P absorvido g}^{-1} \text{ de MS de raiz}$) (Tabela 1). É válido destacar ainda que a baixa disponibilidade de P, além de reduzir a EAP, compromete também o crescimento das raízes (Tabela 1). Portanto, o manejo adequado para obtenção de pomares jovens mais vigorosos é alicerçado no adequado fornecimento de P no plantio, para que, assim, o crescimento mais elevado do sistema radicular resulte em maior ocupação do solo e maior capacidade de absorção de água e nutrientes.

A resposta dos citros à adubação fosfatada é dependente também da combinação copa/porta-enxerto. Os padrões distintos de respostas à adubação fosfatada estão provavelmente associados à diferença na capacidade de aquisição de P do solo por cada porta-enxerto. Em suporte aos resultados reportados por MATTOS et al. (2006, 2010) (Figura 5), árvores jovens de laranja 'Pêra' sobre limão 'Cravo' apresentam sistema radicular com maior crescimento do que aquelas sobre tangerina 'Cleópatra' (Figura 6a), cuja plasticidade contribui para o aumento da capacidade absorção de P e o estabelecimento das plantas no campo. Além disso, as árvores

Tabela 1. Crescimento e eficiência da absorção de fósforo de árvores jovens de citros em função de doses e formas de aplicação de fósforo no solo.

Tratamento ¹	Massa seca			Eficiência de absorção de fósforo
	Folhas	Parte aérea	Raiz	
	----- (g planta ⁻¹) -----			(mg g ⁻¹)
P ₀ /P ₀	73,0	165,3	104,0	0,61
P ₁ /P ₀	79,4	178,8	118,7	0,64
P _{0,5} /P _{0,5}	88,1	188,7	121,7	0,77
P ₂ /P ₀	92,1	192,2	125,7	0,82
P ₁ /P ₁	98,0	211,4	126,5	0,94
Contrastes ortogonais				
P ₀ /P ₀ vs P ₁ /P ₀ + P _{0,5} /P _{0,5}	*	*	*	*
P ₀ /P ₀ vs P ₂ /P ₀ + P ₁ /P ₁	*	*	*	*
P ₁ /P ₀ + P _{0,5} /P _{0,5} vs P ₂ /P ₀ + P ₁ /P ₁	*	*	ns	*
P ₁ /P ₀ + P ₂ /P ₀ vs P _{0,5} /P _{0,5} + P ₁ /P ₁	*	*	ns	*

¹ Legenda: O primeiro e o segundo P indicam as camadas de 0-0,30 m e 0,31-0,60 m do solo, respectivamente. P₀/P₀ = sem aplicação de P no solo; P₁/P₀ = 8 g de P por planta concentrados na primeira camada; P_{0,5}/P_{0,5} = 8 g de P por planta dividido em duas camadas; P₂/P₀ = 16 g de P por planta concentrados na primeira camada; P₁/P₁ = 16 g de P por planta divididos em duas camadas. Comparação dos tratamentos por meio de contrastes ortogonais. * = probabilidade < 0,1 e ns = não significativo (probabilidade > 0,1).

Fonte: Adaptada de Zambrosi et al. (201_).

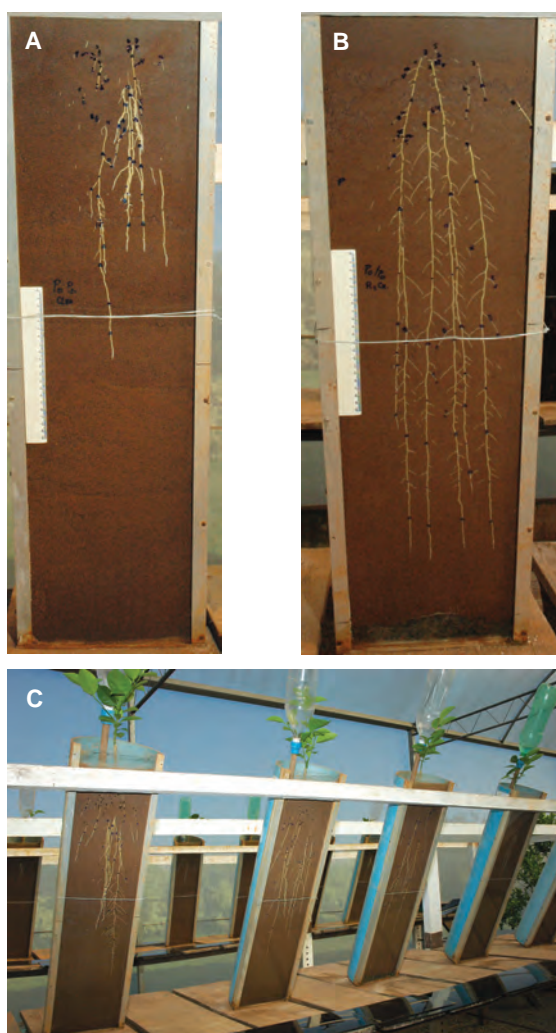


Figura 5. Sistema radicular de plantas jovens de laranja 'Pêra' sobre porta-enxertos de tangerina 'Cleópatra' (A) e limão 'Cravo' (B), 84 dias após transplante em mini-rizotrons (C) preenchidos com solo com teor de P-resina = 4 mg dm⁻³.

Fotos: Dirceu Mattos Junior.

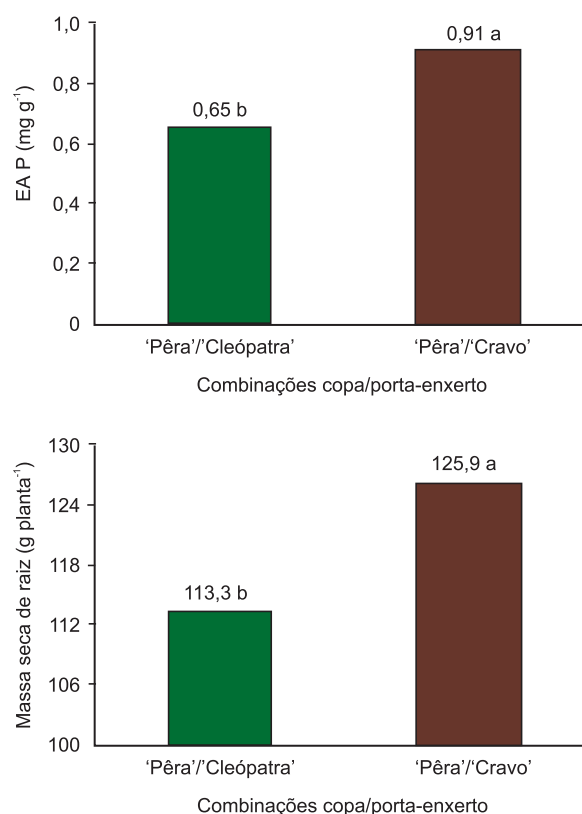


Figura 6. Eficiência de absorção de P (EAP) e crescimento do sistema radicular de plantas jovens de laranja 'Pêra' sobre dois porta-enxertos. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste F (prob. < 0,05).

Fonte: Adaptada de Zambrosi et al. (201_).

sobre limão 'Cravo' apresentam sistema radicular mais eficiente na absorção de P (Figura 6b). O maior crescimento radicular e a EAP de árvores sobre 'Cravo' resultam em elevada capacidade de absorção de P e atendimento da demanda por crescimento e produção de frutos. Deste modo, a recomendação de adubação fosfatada na formação do pomar estabelecida para árvores sobre 'Cleópatra' ou 'Cravo',

que consideraram as primeiras como mais exigentes no suprimento do nutriente (QUAGGIO et al., 2005), estão relacionadas ao menor crescimento do sistema radicular e menor EAP.

A variação na EAP dos porta-enxertos deve estar relacionada, ao menos em parte, à variação na atividade da fosfatase ácida nas raízes (AFAR) (ZAMBROSI et al., 2012a). Uma das respostas que condicionam maior adaptação à baixa disponibilidade de P e contribui para aumentar a EAP é a secreção de fosfatase ácida pelas raízes (YUN e KAEPLER, 2001), pois promove a quebra de ésteres de fosfato e libera P inorgânico na solução do solo (TOMSCHA et al., 2004). Em condições de baixa disponibilidade de P, o ‘Cravo’ tem AFAR mais elevada do que a ‘Cleópatra’ (Tabela 2), indicando ser mais eficiente no aproveitamento da fração de P orgânico. Isto é importante para a adaptação da planta em solos com baixa disponibilidade de P, uma vez que o P orgânico representa importante fração do nutriente presente em áreas cultivadas (BIELESKI, 1973). Este aspecto torna-se também essencial no cenário da citricultura moderna, em que práticas conservacionistas de manejo das entrelinhas favorecem a manutenção de resíduos vegetais e o aumento dos teores de matéria orgânica do solo. Desta maneira, é provável que os porta-enxertos com maior capacidade de aproveitamento de P orgânico sejam favorecidos por tais práticas.

Tabela 2. Atividade da fosfatase ácida nas raízes (AFAR) de quatro porta-enxertos cítricos cultivados em duas concentrações de fósforo na solução nutritiva.

Porta-enxerto	Concentração de P (mmol L ⁻¹)		Média
	0,0125	0,8	
- - AFAR (μmol nitrofenol g ⁻¹ min ⁻¹) - -			
‘Cleópatra’	0,35 bA	0,19 aB	0,27
‘Cravo’	0,54 aA	0,24 aB	0,39
‘Sunki’	0,43 abA	0,17 aB	0,30
‘Swingle’	0,21 cA	0,24 aA	0,23
Média	0,38	0,21	-

Médias acompanhadas por letras minúsculas iguais na mesma coluna e por letras maiúsculas na mesma linha não diferem pelo teste de Duncan a 0,05. **Fonte:** Adaptada de ZAMBROSI et al. (2012a).

4.2. Dinâmica do fósforo na árvore cítrica: implicações de manejo

O P recém-absorvido pelos citros é direcionado aos novos fluxos de crescimento, como folhas novas, flores e frutos, em comparação à parte mais velha da planta (ZAMBROSI et al., 2012b). A absorção de P pelas raízes é regulada pela demanda da parte aérea, sobretudo pelo acúmulo de massa seca (MS) nos novos pontos de crescimento, resultando em maiores taxas de absorção nas árvores com fluxos de crescimento mais vigorosos. Desta maneira, a maior eficiência de aproveitamento do fertilizante fosfatado pelas árvores ocorre quando a demanda pelo nutriente aumenta, por exemplo, a partir da primavera. Isso sugere que a adubação seja realizada mais próxima ao período de maior demanda da planta, sobretudo ao se considerar a redução na disponibilidade de P no solo ao longo do tempo.

Apesar da alocação preferencial do P recém-absorvido para as partes mais novas das plantas, isto não significa que a absorção atenda completamente às exigências destes órgãos em crescimento. Ao contrário, a ciclagem interna da fração de P previamente contida

na árvore cítrica é importante para o atendimento da demanda do nutriente pelos novos fluxos vegetativos e/ou reprodutivos. De fato, em árvores jovens, ocorre elevada realocação do nutriente, cujas estimativas indicam que 20% a 40% da quantidade total de P acumulado nas partes velhas são transportados para as partes mais novas (ZAMBROSI et al., 2012b). Esta remobilização nas laranjeiras é positivamente relacionada às reservas de P na planta e também dependente da demanda pelo nutriente, a qual é definida pelo acúmulo de MS na planta. Durante esse processo, ocorre a mobilização do P inorgânico armazenado no vacúolo das células (fração de reserva) e/ou a solubilização do P presente na forma orgânica (por exemplo, ésteres de fosfato, ácido nucleico e fosfolipídios), com subsequente redistribuição para as novas partes em crescimento.

A mobilidade do P no floema e as altas taxas de remobilização do nutriente permitem que, durante a produção de MS nas árvores, ocorra a participação do P previamente armazenado na árvore para a formação dessas novas partes (Figura 7). Esta participação é mais elevada nas árvores com maiores reservas internas do nutriente e também naquelas em que o fornecimento de P pelas raízes é menor. Isso pode ocorrer como consequência da reduzida disponibilidade de P no substrato como também da menor capacidade do sistema radicular em absorver o nutriente e suprir a demanda da parte aérea. Conforme discutido anteriormente, as árvores sobre porta-enxerto de ‘Cleópatra’ apresentam sistema radicular com menor capacidade de absorção de P em relação àquelas sobre ‘Cravo’. Como resultado, em árvores sobre ‘Cleópatra’ observa-se maior contribuição da fração do nutriente contida nas reservas internas para a formação de novas estruturas do que naquelas sobre ‘Cravo’ que, por sua vez, possuem maior contribuição da absorção radicular para atendimento da demanda por P. Esta maior dependência da remobilização de P pelas árvores sobre ‘Cleópatra’ sugere a necessidade da construção de reservas internas do nutriente para suportar a demanda dos novos fluxos, comparadas às árvores sobre ‘Cravo’.



Figura 7. Participação do P remobilizado na formação de novas estruturas em plantas de laranjeira jovem de acordo com a combinação copa/porta-enxerto cultivadas em condições de disponibilidade adequada de fósforo. As letras, para a mesma parte da planta, indicam diferença significativa pelo teste F (prob. < 0,05).

Fonte: Adaptada de Zambrosi et al. (2012b).

A variação em relação à dependência das fontes internas de P para a produção de MS é suportada por diferenças na atividade da fosfatase ácida nas folhas das árvores. Dada a maior dependência das fontes internas de P armazenadas (P orgânico) das árvores

sobre 'Cleópatra', há maior necessidade da ação da fosfatase ácida para a mobilização do nutriente presente nas folhas mais velhas para os órgãos em formação. Isto normalmente é acompanhado de decréscimos dos teores de P nas folhas maduras, as quais passam a atuar como fonte de P para as regiões de crescimento da planta com elevada demanda pelo nutriente. Entretanto, é válido destacar que, embora a remobilização do P deva contribuir para aumentar a eficiência de uso do nutriente, isto resulta na aceleração da senescência das folhas, levando ao desfolhamento e à redução da área foliar das árvores (Figura 3). A redução da área foliar dos citros em condições de deficiência de P, tanto como consequência da desfolha como da redução na taxa de expansão e no número de folhas (ZAMBROSI et al., 2012a), é um dos principais aspectos relacionados ao crescimento pouco vigoroso e queda na produção das plantas.

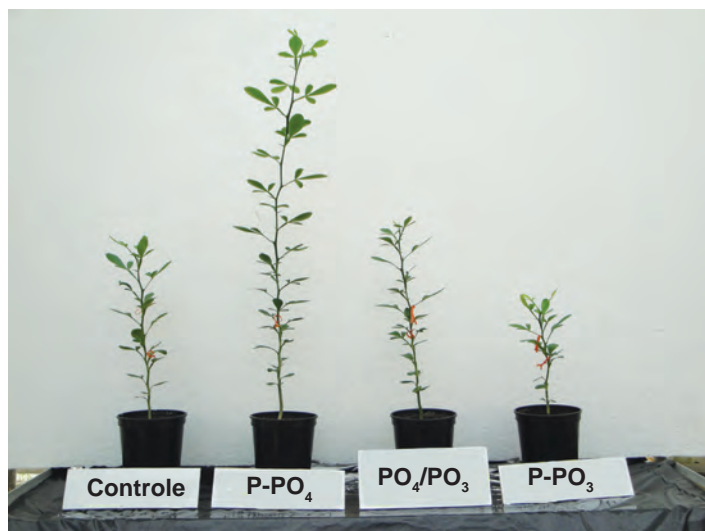


Figura 8. Crescimento de mudas de porta-enxertos de citros cultivados em hidroponia, supridas com fosfato ($P-PO_4$), fosfito ($P-PO_3$) ou combinação destas duas formas de fósforo ($P-PO_4/P-PO_3$).

Foto: Fernando C.B. Zambrosi.

É interessante mencionar que em árvores de citros cultivadas em condições adequadas de disponibilidade de P, durante a formação de novas unidades de MS na parte aérea (órgãos vegetativos e reprodutivos), a participação do P remobilizado é mais elevada do que a do P absorvido pelas raízes (ZAMBROSI et al., 2012b). Existem, portanto, indicativos de que o processo de remobilização seja mais eficiente do que o da absorção para atender a crescente e rápida demanda do nutriente pela planta, envolvendo, provavelmente, menor custo energético, comparado à aquisição de nutrientes por meio das raízes. Certamente, nas plantas cultivadas em condições que permitem o acúmulo de P em seus tecidos, sobretudo na forma de P inorgânico vacuolar, esta fração será prontamente transportada em direção às partes novas, com maior atividade metabólica. A predominância da remobilização sobre a absorção, mesmo quando as raízes encontram adequada disponibilidade de P no solo, reflete novamente a necessidade de que as árvores tenham acumulado quantidades adequadas de P em seus tecidos para suportarem a demanda dos novos fluxos de crescimento. Além disso, esses resultados indicam que possíveis correções da deficiência de P por meio da adubação no momento da emissão dos novos fluxos de crescimento devem ser de baixa eficiência, pois parte do P provém de estoques de P da planta, construídos anteriormente. Assim, o manejo da adubação em pomares, especialmente quando são utilizados porta-enxertos menos eficientes na absorção de P,

deve ser direcionado de modo que as árvores possam acumular quantidades do nutriente compatíveis com a demanda dos novos fluxos. De fato, isto em parte ajuda a explicar porque os sintomas de deficiência de P em pomares jovens diminuem somente após cerca de dois anos da adubação no campo.

4.3. Eficiência nutricional do fósforo na forma reduzida para os citros

O fosfito ($P-PO_3^{2-}$), uma forma reduzida de fosfato ($P-PO_4^{3-}$), tem sido recomendado na produção de várias culturas, dada sua ação fungicida, mesmo embora tenha sido constantemente promovido seu valor fertilizante. Na forma reduzida, um hidrogênio substitui um dos oxigênios ligados ao átomo de P, alterando a conformação da molécula (CARSWELL et al. 1996). O fosfito foi considerado inerte em relação ao metabolismo dos seres vivos, até a descoberta de que aplicações foliares ou a sua injeção no tronco das plantas na forma de Fosetil-Al suprimiam doenças causadas por fungos, como *Phytophthora* (CARSWELL et al., 1997).

Estudos sobre a viabilidade do fosfito no suprimento de P às plantas não são recentes (MacINTIRE et al., 1950), porém, seu uso é controverso. Nos últimos anos, o renovado interesse pelas propriedades nutricionais desta molécula tem estimulado sua comercialização como fertilizante. Isto ocorre em função da constatação de benefícios atribuídos ao fosfito, como incremento do florescimento e da frutificação nos citros (ALBRIGO, 1999; RICKARD, 2000), o que é explicado pelo fato do elemento estar em forma disponível para a absorção pelas raízes, devido a menor fixação no solo e rápida absorção, e também à alta absorção foliar.

Apesar do amplo número de produtos à base de fosfito recomendados para os citros, inclusive como fonte de P e para melhoria do estado nutricional da cultura, pesquisa recente não recomenda o uso do fosfito com esses propósitos (ZAMBROSI et al., 2011). Resultados demonstraram que o fosfito não apresentou valor nutricional e, por isso, não pode substituir o fosfato no metabolismo vegetal. Plântulas de citros supridas com fosfito apresentaram crescimento semelhante ao daquelas que não receberam aplicação de fosfato (Figura 8). Além disso, houve manifestação de sintomas de toxicidade por fosfito e prejuízos no metabolismo, como decréscimo na fotossíntese, indicando que ele não pode ser utilizado no manejo nutricional dos pomares com a finalidade de correção da deficiência de P. Portanto, os possíveis efeitos benéficos do fosfito sobre o florescimento dos citros, observado por alguns autores, devem estar relacionados à imposição de estresses e não à melhoria no estado nutricional das plantas. De fato, cuidado especial deve ser tomado quando no uso de fosfito em pomares brasileiros, pois estes são cultivados predominantemente em locais caracterizados por baixa disponibilidade de P. Desta maneira, o manejo adequado da adubação fosfatada deve ser estabelecido em pomares que recebem a aplicação mais intensa de fosfito para, por exemplo, o controle de doenças.

5. REDE DE COLABORAÇÕES

Os projetos desenvolvidos no programa de pesquisa do IAC foram possíveis com a colaboração de pesquisadores da Universidade da Flórida (EUA) e do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), e receberam apoio nas modalidades de bolsas de pesquisa no exterior [Fapesp (Proc. 95/06611-1) e CNPq], do programa de bolsista de iniciação científica (Pibic/CNPq) e de auxílios regulares à pesquisa [Fapesp (Proc. 95/06611-1 e 07/04634-3) e Fundag].

6. AVANÇOS TECNOLÓGICOS DENTRO DO CONCEITO 4C

Os resultados de pesquisa até aqui alcançados validam a experiência de campo e demonstram vantagens da adubação fosfatada aplicada em profundidade na implantação dos pomares de citros. Essa aplicação, direcionada ao sulco de plantio, deve ser realizada preferencialmente com o uso de fontes de fósforo solúveis em água, como o superfosfato simples, junto com o calcário (QUAGGIO et al., 2010). Para facilitar a incorporação desses insumos no solo foi desenvolvido um equipamento conhecido como subsolador triplo, o qual é dotado de dispositivo capaz de aplicar o P próximo das hastes do subsolador. Nos pomares já implantados, devem ser feitos ajustes nas doses de P recomendadas levando-se em conta as variedades porta-enxertos, a disponibilidade do nutriente no solo e as classes de produção de frutos. Nessa fase, os fertilizantes são aplicados na superfície sem incorporação. Também, deve-se utilizar fontes de fósforo solúveis em água para aumentar a eficiência fertilizante. Destaca-se que nesses pomares, instalados em solos pobres em fósforo, a correção da sua deficiência é mais eficiente com a aplicação do nutriente em dose única, no início da primavera. Neste contexto, foram atendidos os preceitos para o manejo eficiente de fertilizantes na agricultura, com base no manejo 4C, ou seja, com a fonte certa, na dose certa, na época certa e no local certo.

Outro ponto que merece destaque nas pesquisas aqui relatadas, relativas à nutrição de citros, diz respeito à recomendação da adubação particularizada para porta-enxertos, com impacto importante na citricultura brasileira. O limoeiro Cravo apresenta muitas qualidades (por exemplo, vigor, precocidade de produção e resistência à seca), o que o levou a uma posição predominante na citricultura. Quando surgiu a necessidade de substituí-lo, em muitas situações em razão da sua suscetibilidade a problemas fitossanitários, houve resistência dos citricultores, pois outros porta-enxertos não se mostravam tão produtivos. A adubação diferencial demonstrou que outros materiais genéticos podem resultar em árvores tão produtivas quanto àquelas enxertadas sobre Cravo, abrindo, assim, caminho para a diversificação de porta-enxertos no parque citrícola paulista.

REFERÊNCIAS

ALBRIGO, L. G. Effects of foliar applications of urea or Nutriphite on flowering and yields of Valencia orange trees. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 112, p. 1-4, 1999.

BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport and phosphate availability. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, p. 225-252, 1973.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. Response of citrus to NPK fertilization in a network of field trials in São Paulo State, Brazil. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 2, p. 607-612, 1992.

CARSWELL, C.; GRANT, B. R.; THEODOROU, M. E.; HARRIS, J.; NIERE, J. O.; PLAXTON, W. C. The fungicide phosphonate disrupts the phosphatostarvation response in *Brassica nigra* seedlings. **Plant Physiology**, v. 110, p. 105-110, 1996.

CARSWELL, C.; GRANT, B. R.; THEODOROU, M. E.; PLAXTON, W. C. Disruption of the phosphate-starvation response of oilseed rape suspension cells by the fungicide phosphonate. **Planta**, v. 203, p. 67-74, 1997.

GPACC. GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CITROS. Recomendações de adubação e calagem para citros no Estado de São Paulo. **Laranja**, v. 15, p. 1-27, 1994. (edição especial).

MacINTIRE, W. H.; WINTERBERG, S. H.; HARDIN, L. J.; STERGES, A. J.; CLEMENTS, L. B. Fertilizer evaluation of certain phosphorus, phosphorous and phosphoric materials by means of pot cultures. **Agronomy Journal**, v. 42, p. 543-549, 1950.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A. K.; GRAETZ, D. A. Response of young citrus trees on selected rootstocks to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, p. 1371-1385, 2006.

MATTOS JUNIOR, D.; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A. Nutrição dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D.; De NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros**. 1.ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fapesp, 2005. p. 197-219.

MATTOS JUNIOR, D.; YAMANE, D. R.; BOARETTO, R. M.; ZAMBROSI, F. C. B.; QUAGGIO, J. A. Root development of young citrus trees in soil fertilized with phosphorus. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane, Australia. **Proceedings...** Brisbane: ISSC, 2010.

QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Phosphorus and potassium soil test and nitrogen leaf analysis as a basis for citrus fertilization. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 52, p. 67-74, 1998.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS JUNIOR, D.; De NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros**. 1.ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fapesp, 2005. p. 483-517.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Sweet orange trees grafted on selected rootstocks fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 55-60, 2004.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M. Citros. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Org.). **Boas Práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: Internation Plant Nutrition Institute, 2010. v. 2, p. 373-412.

RICKARD, D. A. Review of phosphorus acid and its salts as fertilizer material. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, p. 161-180, 2000.

TOMSCHA, J. L.; TRULL, M. C.; DEIKMAN, J.; LYNCH, J. P.; GUILTINAN, M. J. Phosphatase under-producer mutants have altered phosphorus relations. **Plant Physiology**, v. 135, p. 334-345, 2004.

YUN, S. J.; KAEPLER, S. M. Induction of maize acid phosphatase activities under phosphorus starvation. **Plant and Soil**, v. 237, p. 109-115, 2001.

ZAMBROSI, F. C. B.; MATTOS JUNIOR, D.; SYVERTSEN, J. P. Plant growth, leaf photosynthesis, and nutrient-use efficiency of citrus rootstocks decrease with phosphite supply. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, p. 487- 95, 2011.

ZAMBROSI, F. C. B.; MATTOS JUNIOR, D.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; BOARETTO, R. M. Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 485-496, 2012a.

ZAMBROSI, F. C. B.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; QUAGGIO, J. A.; MURAOKA, T.; SYVERTSEN, J. P. Contribution of phosphorus absorption and remobilization for citrus growth. **Plant and Soil**, v. 355, p. 353-362, 2012b.

ZAMBROSI, F. C. B.; MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; BOARETTO, R. M. Phosphorus uptake by young citrus trees in low-P soil depend on rootstock varieties and nutrient management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 201_. (Submetido para publicação).