

RENASCIMENTO DO INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Luís Ignácio Prochnow¹

Com o encerramento das atividades do **Internacional Plant Nutrition Institute (IPNI)**, a edição de Dezembro de 2018 do **Jornal Informações Agronômicas** foi a última a ser veiculada pelo Instituto. Na ocasião, muitas dúvidas surgiram acerca do destino do acervo de propriedade intelectual do IPNI. Com o tempo, ficou decidido que a empresa **Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia (NPCT)**, formada com os mesmos princípios do IPNI, porém, de caráter privado, poderia herdar os materiais já publicados no Brasil e também dar continuidade à edição do **Jornal**. Recentemente, o **Jornal Informações Agronômicas** completou 40 anos, prestando um inestimável serviço à agricultura nacional por meio da difusão de conhecimento prático e aplicado. Assim, dada a relevância da publicação, aceitamos, com orgulho, o desafio de dar continuidade ao trabalho, agora com um novo formato.

Nesta primeira edição do **Jornal** sob a responsabilidade da NPCT, encontram-se alguns artigos traduzidos e adaptados do último número da revista *Better Crops*, a qual focou o tema

Fósforo, em homenagem ao aniversário de 350 anos de seu descobrimento. São artigos educativos e focados no futuro, para o avanço da Ciência, propiciando o uso mais eficiente deste importante nutriente para as plantas. A partir da próxima edição (Junho), pretendemos imprimir um caráter ainda mais prático ao **Jornal**, contribuindo com informações prontas da pesquisa para o manejo adequado das lavouras nas diferentes regiões do Brasil.

Todas as edições publicadas até Dezembro de 2018, bem como esta primeira de 2019, serão oferecidas de forma gratuita, para consulta no site da NPCT (www.npct.com.br). Porém, a partir da próxima edição, por não termos mais o financiamento do IPNI, será estabelecida uma anuidade para os assinantes.

Iniciamos, assim, uma nova fase do **Jornal**, que somente será exitosa com o apoio dos interessados. De nossa parte, faremos todo o possível para renovar novos 40 anos de auxílio aos que fazem a nossa agricultura grandiosa.

E que venham novos cenários, novos desafios e novas conquistas!! Estamos prontos para esta nova jornada!!

**PARA FAZER A ASSINATURA DO JORNAL INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS, VIDE PÁGINA 18
OU ACESSE O SITE DA NPCT: www.npct.com.br**

¹ Diretor Geral da Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia (NPCT); email: Lprochnow@npct.com.br

NUTRIÇÃO DE PLANTAS CIÊNCIA E TECNOLOGIA (NPCT)

Avenida Independência, nº 350, Edifício Primus Center, sala 141-A - Fone/Fax: (19) 3433-3254 - CEP 13419-160 - Piracicaba-SP, Brasil
Website: www.npct.com.br E-mail: Etoledo@npct.com.br Twitter: @NPCTBrasil Facebook: NPCTBrasil

Publicação trimestral da NPCT – Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia

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

Editora Assistente

Silvia Regina Stipp

Gerente de Distribuição

Evandro Luis Lavorenti

ASSINATURAS

As assinaturas podem ser realizadas no site da NPCT: <http://www.npct.com.br>
Mudanças de endereço podem ser solicitadas por email para: Etoledo@npct.com.br

Nº 1 MARÇO/2019

CONTEÚDO

350 anos, e contando...

Heidi Peterson 2

Fósforo: História e contribuições para o suprimento global de alimentos

Terry L. Roberts 3

Reduzindo as perdas não intencionais de fósforo na agricultura

Don Flaten, Andrew Sharpley, Helen Jarvie, Peter Kleinman 6

Acesso das plantas ao legado de fósforo, com foco nos trópicos

Luís Ignácio Prochnow, Heidi Peterson, Tom Bruulsema 9

Diversidade de plantas como estratégia para aumentar a disponibilidade de fósforo no solo

Carlos Alexandre C. Crusciol, João Paulo G. Rigon, Juliano Carlos Calonego, Rogério Peres Soratto 12

O futuro do fósforo na agricultura

Michael J. McLaughlin 15

Divulgando a Pesquisa 17

Painel Agronômico 18

Cursos, Simpósios e outros Eventos 19

Publicações Recentes 20

Publicação do IPNI/NPCT 21

Ponto de Vista 22

NOTA DOS EDITORES

As opiniões e as conclusões expressas pelos autores nos artigos não refletem necessariamente as mesmas dos editores deste jornal.

350 ANOS, E CONTANDO...

Heidi Peterson¹

Como 2019 marca o 350º aniversário da descoberta do fósforo (P) por Hennig Brandt, este é um momento para se refletir sobre o número de avanços científicos significativos que se seguiram à descoberta. Vemos a última edição do *Better Crops*² como um legado de colaborações da pesquisa nas quais o Instituto se envolveu ao longo dos anos, não somente para avançar no campo do manejo dos nutrientes agrícolas, mas para aumentar a adoção de melhores práticas para uso de fertilizantes em todo o mundo.

Estima-se que a população mundial aumente em dois bilhões de pessoas até 2050, o que leva, entre outros itens, à urgência de avançar na ciência relativa ao P para atender de forma mais sustentável as necessidades globais de alimentos, fibras e rações, e minimizar os impactos ambientais. Os artigos incluídos nesta edição foram escolhidos para avançar estrategicamente através dos fundamentos dessa ciência, capturando destaques do progresso que a agricultura, através do trabalho de grandes pesquisadores, alcançou ao longo das décadas.

À medida que embarcamos em nossa jornada e avançamos no campo da ciência relativa ao P, durante esse período de mudanças climáticas e de paisagem, nossos sistemas de cultivo devem se concentrar em práticas de manejo adaptáveis, que envolvam soluções sustentáveis, garantindo a integração do uso de fontes de P com os princípios de manejo de nutrientes 4C e a adoção de práticas conservacionistas.

Temos a expectativa de que os artigos contidos nesse número do jornal *Informações Agronômicas* possam contribuir para o manejo mais sustentável do P no futuro!



¹ Ex-Diretora do Programa sobre Fósforo do IPNI.

² Esclarecemos que os artigos desta edição do *Informações Agronômicas* foram originalmente publicados pelo **Better Crops**.

FÓSFORO:

HISTÓRIA E CONTRIBUIÇÕES PARA O SUPRIMENTO GLOBAL DE ALIMENTOS

Terry L. Roberts¹

Em 1669, o alquimista alemão Hennig Brandt descobriu acidentalmente o fósforo (P) enquanto procurava a "pedra filosofal", uma lendária substância alquímica capaz de transmutar metais de baixo valor em ouro (KRAFFT, 1969). Os experimentos de Brandt, envolvendo a destilação da urina humana junto a pedaços de prata, produziram uma substância branca e cerosa que brilhava no escuro. Ele a denominou "fogo frio", a qual, posteriormente, foi renomeada de "fósforo", que significa "portador de luz".

Em 1776, o P foi reconhecido como o 13º elemento na história da descoberta dos elementos químicos (EMSLEY, 2000). Em sua forma elementar, o P branco é altamente reativo e não é encontrado na natureza. Exposto ao ar, é inflamável, pode entrar em combustão espontânea e é venenoso em doses baixas. Devido às suas propriedades destruidoras quando utilizado em aplicações militares (por exemplo, bombas, gás nervoso), ficou conhecido como "elemento do diabo".

Por um século, a urina foi considerada a única fonte de P, até ele ser encontrado nos ossos por dois cientistas suecos, Ghan e Scheele, em 1770 (WISNIAK, 2005). Nos anos seguintes, vários processos de fabricação foram desenvolvidos para a produção comercial de P. A cinza de ossos, colocada para reagir com ácido sulfúrico, produziu fosfato de cálcio [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$]. Em 1831, Heinrich Kohler, na Áustria, patenteou um método para acidular os ossos com ácido sulfúrico e, em 1835, James Murray, um médico irlandês, referiu-se ao produto em suas palestras como "superfosfato de cal" e, em 1842, obteve patentes na Irlanda, Escócia e Inglaterra abordando a acidulação de ossos. Mais tarde, descobriu-se que o P era o constituinte principal de certas rochas ígneas e sedimentares.

Mais ou menos na mesma época, Justus von Liebig referiu-se à mistura de ácido sulfúrico e ossos finamente moídos como uma forma de tornar os ossos mais eficazes no suprimento de P às plantas. Na edição de 1940 da sua obra *Organic Chemistry in Its Application to Agriculture and Physiology*, bem como nas edições posteriores, ele recomendou:

"...despeje sobre os ossos, em estado de pó fino, metade do seu peso em ácido sulfúrico diluído com três ou quatro partes de água, e, depois de algum tempo de digestão, adicione 100 partes de água e espalhe essa mistura no campo, antes da aração... Experimentos mostraram que, com isso, nem o milho e nem as plantas



Figura 1. A produção de superfosfato simples (SFS), realizada por Lawes, marcou o início da indústria mundial de fertilizantes fosfatados.

hortícolas sofrem consequências prejudiciais, mas, ao contrário, elas se desenvolvem com muito mais vigor" (LIEBIG, 1840).

Liebig, além de sugerir o tratamento dos ossos com ácido, influenciou grandemente o pensamento dos cientistas a respeito da nutrição de plantas e dos fertilizantes. Suas teorias estimularam a pesquisa.

No período de 1836-1838, John Bennett Lawes aplicou pó de ossos ao solo de sua propriedade, localizada próximo a Harpenden, na Inglaterra, para fertilizar uma cultura de nabo, porém, seu experimento surtiu pouco efeito (NELSON, 1990). Então, em 1839, iniciou uma série de ensaios em vasos, em pequena escala, utilizando ossos e fosfatos minerais acidulados com ácido sulfúrico e outros ácidos, e em 1840-1841 transferiu suas experiências para o campo, obtendo, com isso, em 1842, a concessão de sua famosa patente de produção de superfosfato. Em 1846, Lawes comprou a patente de Murray, para evitar quaisquer questões de prioridade que pudessem surgir, e em 1848 alterou sua patente, removendo todas as referências a ossos e produtos ósseos, limitando-a a 'apatita e fosforita e outras substâncias contendo ácido fosfórico'.

Lawes começou a fabricar e a comercializar superfosfato em 1843, marcando o início da indústria mundial de fertilizantes fosfatados (Figura 1). Em uma década, o superfosfato foi produzido por 14 empresas na Inglaterra e se espalhou rapidamente para outras

Abreviações: EUN = eficiência de uso de nitrogênio; N = nitrogênio; P = fósforo; SFS = superfosfato simples; SFT = superfosfato triplo.

¹ Presidente do International Plant Nutrition Institute (IPNI), Peachtree Corners, GA, EUA; email: troberts@ipni.net

partes do mundo (RUSSEL; WILLIAMS, 1977). Como os ossos se tornaram escassos, os produtores na Inglaterra começaram a utilizar coprólitos – massas fossilizadas de excremento animal – encontrados logo acima da camada de argila em alguns solos próximos. Posteriormente, a apatita foi importada da Noruega e o fosfato de rocha da França e da Bélgica. O fosfato de rocha foi descoberto nos EUA em 1867, e logo depois em muitos outros países.

O superfosfato simples (SFS), com teor de P relativamente baixo (~ 20% de P_2O_5), dominou o mercado de fertilizantes fosfatados por mais de 100 anos. Pequenas quantidades de superfosfato concentrado (44 a 48% de P_2O_5), isto é, superfosfato triplo (SFT), foram produzidas na Alemanha no início da década de 1870 (LEIKHAM; ACHORN, 2005). No entanto, como a sua produção era dependente do ácido fosfórico, somente nos anos 50, com o desenvolvimento da primeira planta de ácido fosfórico, é que o SFT se tornou um importante fertilizante fosfatado (ROBINSON, 1980). A introdução do SFT iniciou a era da "alta análise" dos fertilizantes fosfatados e estabeleceu a indústria de fosfato próximo aos depósitos de fosfato de rocha (LEIKHAM; ACHORN, 2005). A produção de SFT atingiu o pico na década de 1980, mas desde então ele tem sido substituído pelos fosfatos de amônio. Quando a amônia sintética tornou-se comercialmente disponível, seu uso para amoniar o superfosfato cresceu rapidamente. A produção de diferentes classes de fosfato de amônio ocorre desde o início dos anos 1910, mas foi somente nos anos 1960 que a produção de fosfato de amônio tornou-se comum.

Os ensaios de Lawes com materiais fertilizantes levaram ao estabelecimento da Estação Experimental de Rothamsted em sua propriedade, em 1843 (ROTHAMSTED RESEARCH, 2018).

Entretanto, por não possuir treinamento formal em química ou outras ciências, ele nomeou Joseph Henry Gilbert, um químico que havia estudado brevemente com Liebig, como seu colaborador científico. Lawes e Gilbert trabalharam juntos por quase 60 anos. Eles implantaram o primeiro de uma série de experimentos clássicos de longo prazo no campo de Broadbalk em 1843 (Figura 2), e durante os 13 anos seguintes estabeleceram mais nove experimentos de longa duração. O objetivo foi medir os efeitos dos fertilizantes inorgânicos na produtividade das culturas. Os fertilizantes inorgânicos foram comparados ao esterco de curral, sozinho e em várias combinações. O superfosfato simples foi testado em todos os ensaios. O cultivo da mesma cultura, no mesmo solo, ano após ano, foi uma característica de muitos dos estudos.

Rothamsted tornou-se o lar dos ensaios sobre fertilizantes mais antigos do mundo. Um dos primeiros resultados experimentais mais importantes mostrou que as culturas não respondem ao N quando há muito pouco P disponível no solo (JOHNSON; POULTON, 2018). Aprendeu-se muito sobre fixação de P, P disponível, P residual e a resposta das culturas à adubação fosfatada nesses ensaios de longo prazo.

No experimento de Broadbalk, em Rothamsted, a produção de trigo de inverno aumentou continuamente desde 1843. A aplicação de fertilizantes nitrogenados, junto com P e K, foi responsável por até 82% do rendimento de trigo, em comparação com a aplicação isolada de P e K, com média geral de 64% (Figura 3). Entre 1970 e 1995, utilizando variedades de trigo de inverno de alto rendimento, adubadas com 95 kg ha⁻¹ de N, a omissão de P diminuiu a produtividade em 44%, em média (STEWART et al., 2005).



Figura 2. Vista aérea do Experimento Broadbalk, em Rothamsted, Inglaterra, iniciado por John Bennett Lawes em 1843.

Fonte: Rothamsted Research Ltd. (www.era.rothamsted.ac.uk).

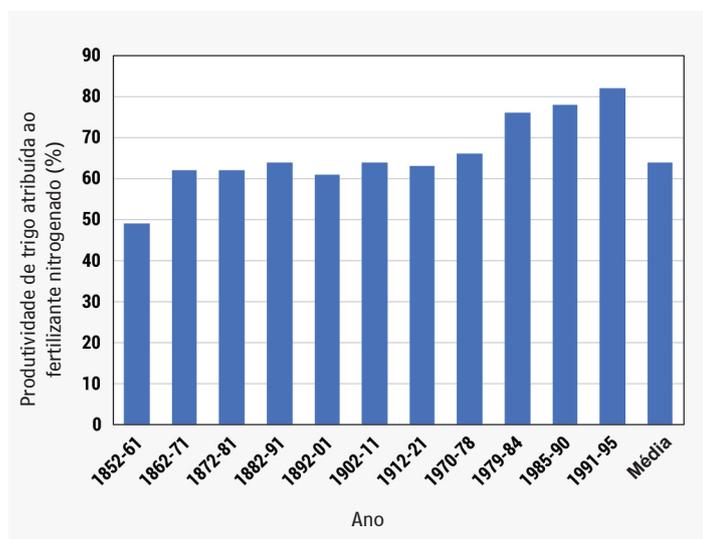


Figura 3. Produtividade relativa de grãos de trigo de inverno obtida com adubação NPK, comparada à aplicação isolada de P + K no experimento de Broadbalk, em Rothamsted, Inglaterra, no decorrer dos anos. Os anos entre 1921 e 1969 não são mostrados porque parte do experimento foi pausada para o controle de ervas daninhas.

Fonte: Adaptada de Stewart et al. (2005).

O nitrogênio é a base para a produção de proteína animal e humana e é essencial para se alcançar o rendimento máximo das culturas. Cerca de metade da população mundial é mantida pelos fertilizantes nitrogenados, contudo, o N não é utilizado eficientemente ou efetivamente sem a presença de P. Exemplos da interação positiva entre N e P na produção de trigo e na eficiência de uso de nitrogênio (EUN) na Austrália, Canadá, Estados Unidos e Reino Unido foram revistos recentemente por Duncan et al. (2018). Eles relataram dados de 11 estudos mostrando rendimentos de grãos variando de 1.000 a 3.590 kg ha⁻¹ sem a aplicação de fertilizantes, 1.100 a 4.015 kg ha⁻¹ quando o N foi aplicado sozinho e 2.610 a 6.270 kg ha⁻¹ quando o N e o P foram aplicados juntos (Figura 4). O rendimento adicional proporcionado pela presença de P variou de 142 a 3.205 kg ha⁻¹. A aplicação de P junto com N aumentou a EUN em 9 dos 11 estudos, resultando em aumentos variando de 2,1 a 31,2 kg de grãos adicionais por kg de N aplicado, em relação ao N aplicado isoladamente. Portanto, o fósforo é crucial para a nutrição equilibrada das plantas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fósforo é a base de toda a vida na terra. É o sexto elemento mais abundante nos organismos vivos, o constituinte necessário do DNA e do código genético e fornece energia para todos os processos metabólicos. O fósforo é essencial para a segurança alimentar no mundo. A produção de alimentos, rações, fibras e energia que mantém o crescimento populacional não seria possível sem o P. Entretanto, o P que é perdido na agricultura pode causar problemas na qualidade da água, resultando em eutrofização, e a matéria-prima para produzir o fertilizante fosfatado é um recurso não renovável. Embora não exista perigo eminente de exaustão das rochas fosfáticas em um futuro previsível, cabe-nos utilizar este recurso valioso da forma eficiente (SCHOLZ et al., 2014). O manejo de nutrientes 4C – aplicação da fonte certa, na quantidade certa, no momento certo e no local certo – é a base para o uso eficiente do fósforo.

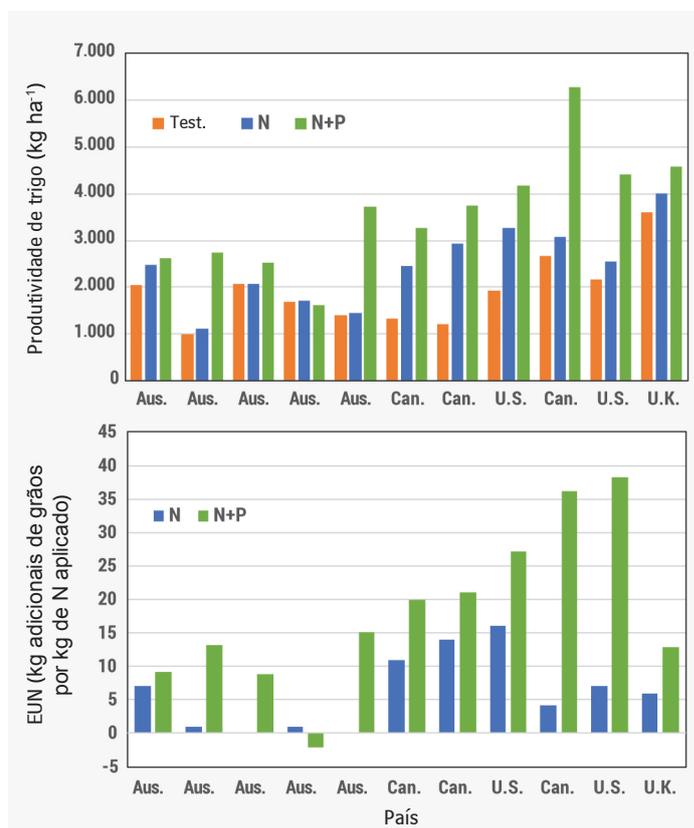


Figura 4. Resumo dos resultados de pesquisas realizadas na Austrália, Canadá, Estados Unidos e Reino Unido sobre o efeito do N e da mistura N + P na produtividade do trigo e na eficiência de uso de nitrogênio (kg adicional de grãos/kg de N aplicado).

Fonte: Adaptada de Duncan et al. (2018).

REFERÊNCIAS

- DUNCAN, E. G.; O'SULLIVAN, C. A.; ROPER, M. M.; BIGGS, J. S.; PEOPLES, M. B. Influence of co-application of nitrogen with phosphorus, potassium and sulphur on the apparent efficiency of nitrogen fertilizer use, grain yield and protein content of wheat. *Field Crops Research*, v. 226, p. 56-65, 2018.
- EMSLEY, J. *The 13th element: the sordid tale of murder, fire and phosphorus*. New York: John Wiley & Sons, 2000. 327 p.
- JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R. The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. *European Journal of Soil Science*, v. 69, p. 113-125, 2018.
- KRAFFT, F. Phosphorus: From elemental light to chemical element. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 8, n. 9, p. 660-671, 1969.
- LEIBIG, J. *Organic chemistry in its application to agriculture and physiology*. London: Taylor & Walton, 1840. 387 p.
- LEIKAM, D. F.; ACHORN, F. P. Phosphate fertilizers: Production, characteristics, and technologies. In: SIMS, J. T.; SHARPLY, A. N. (Ed). *Phosphorus: Agriculture and the environment*. Madison, WI: ASA/CSSA/SSSA, 2005. cap. 2. p. 23-50.
- NELSON, L. B. *History of the U.S. fertilizer industry*. Muscle Shoals, Alabama: Tennessee Valley Authority, 1990. 522 p.
- ROBINSON, N. Phosphoric acid technology. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed). *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, WI: ASA/CSSA/SSSA, 1980. cap. 6. p. 151-193.
- ROTHAMSTED RESEARCH. *The history of Rothamsted research*. Harpenden, 2018. Disponível em: <https://www.rothamsted.ac.uk/history-and-heritage>. Acesso em: 10 março 2019.
- RUSSEL, D. A.; WILLIAMS, G. G. History of chemical fertilizer development. *Soil Science Society of American Journal*, v. 41, p. 260-265, 1977.
- SCHOLZ, R. W.; ROY, A. H.; HELLUMS, D. Sustainable phosphorus management: A transdisciplinary challenge. In: SCHOLZ, R. W.; ROY, A. H.; BRAND, F. S.; HELLUMS, D.; ULRICH, A. E. (Ed.). *Sustainable phosphorus management: A global transdisciplinary roadmap*. New York: Springer Dordrecht Heidelberg, 2014. cap. 1. p. 1-128.
- STEWART, W. M.; DIBB, D. W.; JOHNSTON, A. E.; SMYTH, T. J. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 1, p. 1-6, 2005.
- WISNIAK, J. Phosphorus – From discovery to commodity. *Indian Journal of Chemical Technology*, v. 12, p. 108-122, 2005.

REDUZINDO AS PERDAS NÃO INTENCIONAIS DE FÓSFORO NA AGRICULTURA

*Don Flaten¹
Andrew Sharpley²*

*Helen Jarvie³
Peter Kleinman⁴*

A nutrição fosfatada fornece a base para a produção, pelas plantas, de alimentos, bioenergia e biomateriais. De fato, tem sido argumentado que o fósforo (P) está no centro da relação alimento-água-energia (JARVIE et al., 2015). No entanto, pequenas quantidades de P oriundas do solo agrícola podem causar grandes problemas na qualidade da água superficial, especialmente em sistemas de água doce, onde o crescimento de algas é muito sensível à concentração de P, como pode ser visto na Figura 1 (SCHINDLER, 1977). Como resultado, o comprometimento de corpos d'água superficiais pelo P, especialmente de fontes não pontuais, continua sendo um problema desafiador, persistente e generalizado, que ameaça não apenas a qualidade da água, mas também a segurança hídrica (SHORTLE; HORAN, 2017).

PRÁTICAS BENÉFICAS DE CONSERVAÇÃO QUE REDUZEM A PERDA DE FÓSFORO

As práticas conservacionistas relacionadas ao manejo de nutrientes são ferramentas essenciais para reduzir as perdas de P dos solos agrícolas para as águas superficiais. Os princípios básicos do manejo de nutrientes 4C – uso da fonte certa, na dose certa, na época certa e no local certo (IFA, 2009; IPNI, 2014) – são aplicáveis ao manejo das perdas agrícolas de P e efetivas em uma ampla gama de situações geográficas e de manejo do solo. Muitas práticas comuns de manejo de nutrientes provaram sua eficácia na redução das perdas de P na agricultura em muitas regiões do mundo. Estas incluem medidas como:

- Aplicar o P nas doses recomendadas pela análise de solo para evitar o acúmulo excessivo de P no solo;
- No atendimento às exigências da cultura em nitrogênio (N), evitar repetidas aplicações anuais de esterco de gado no mesmo solo;
- Incorporar o adubo fosfatado e o esterco no solo.

As práticas conservacionistas focadas no manejo do solo e da água fornecem outras importantes ferramentas para reduzir as perdas de P. A maioria das práticas de manejo do solo e da água é projetada para impedir o movimento do P para fora dos campos ou

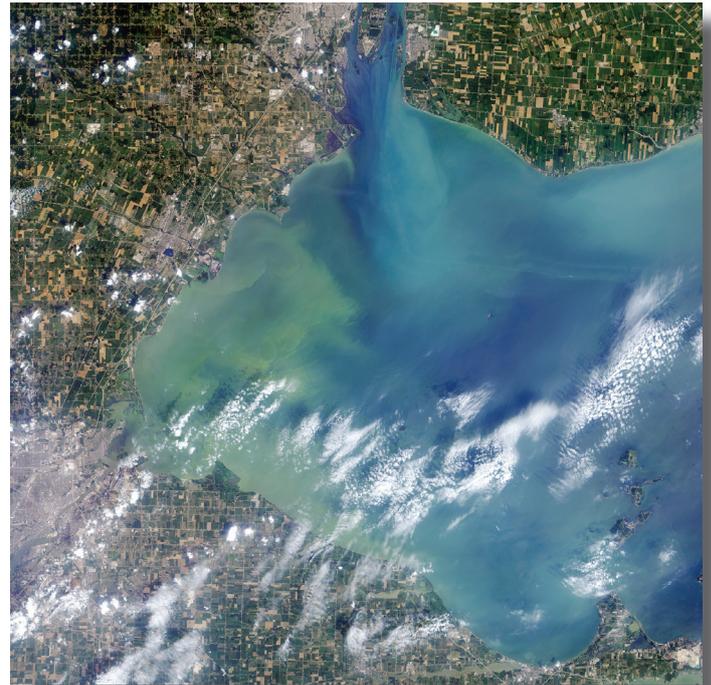


Figura 1. Florações de algas na margem ocidental do Lago Erie, em Ohio, EUA, demonstram o efeito do excesso de fósforo na qualidade da água e as consequências não-intencionais de algumas práticas conservacionistas.

Fonte: Jarvie et al. (2017).

interceptar o P que se move do campo para a superfície da água. Esse grupo inclui uma ampla gama de práticas de controle de erosão, tais como plantio direto, cordões de vegetação permanente, estabilização de margens e proteção de áreas úmidas (Figura 2). No entanto, a eficácia das práticas de manejo do solo e da água na redução da perda de P varia com o ambiente biofísico dos solos agrícolas dentro das bacias hidrográficas locais. Por exemplo, os sistemas conservacionistas podem reduzir as perdas de P particu-

Abreviações: N = nitrogênio; P = fósforo.

¹ Departamento de Ciência do Solo, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canadá; email: donflaten@umanitoba.ca

² Departamento de Agricultura, Solos e Ciências Ambientais, University of Arkansas, Fayetteville, AR; email: sharpley@uark.edu

³ Centro de Ecologia e Hidrologia, Wallingford, UK; e-mail: hpj@ceh.ac.uk

⁴ USDA-ARS, Pasture Systems and Watershed Management Research Unit, University Park, PA; e-mail: peter.kleinman@ars.usda.gov



Figura 2. Cordões de vegetação e de gramados ribeirinhos podem, em muitas situações, interceptar o fósforo no escoamento superficial e ajudar a estabilizar os riachos.

lado, mas o acúmulo de P do adubo, do estrume e da vegetação na superfície do solo cultivado em sistema conservacionista pode levar a um aumento das perdas de P dissolvido (SHARPLEY; SMITH, 1994; TIESSEN et al., 2010).

PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO PARA MELHORAR A QUALIDADE DA ÁGUA SÃO FREQUENTEMENTE MENOS EFICAZES E MAIS COMPLEXAS DO QUE O ESPERADO

Em todo o mundo, programas-modelo (por exemplo, os da Bacia do Mississippi, do Mar Báltico e do Rio Murray-Darling) promoveram a adoção de práticas conservacionistas para reduzir o escoamento de P, porém, muitas vezes, a melhoria na qualidade da água foi menor ou mais lenta do que o esperado (JARVIE et al. 2013). Em alguns casos, por exemplo, na Bacia do Lago Erie, na América do Norte, a qualidade da água piorou devido ao aumento das cargas ribeirinhas de P solúvel, a despeito da implementação de tais práticas (JARVIE et al., 2017). Estas respostas lentas e/ou indesejadas podem resultar de uma série de fatores, tais como:

- Incompatibilidade entre práticas conservacionistas (SMITH et al., 2015; JARVIE et al., 2017);
- Atrasos associados ao caminho do fluxo hidrológico e ao tempo de resposta das bacias hidrográficas (MEALS et al., 2010);
- Legado histórico do manejo do solo, cujo impacto não pode ser prontamente revertido (SHARPLEY et al., 2013; VADAS et al., 2018).

No entanto, a experiência adquirida com o manejo de fontes não pontuais gerou lições valiosas que podem nos ajudar a melhorar a eficácia das práticas conservacionistas. Por exemplo, a implementação dessas práticas requer mais atenção às abordagens localmente relevantes e precisas que maximizam os benefícios e minimizam os efeitos colaterais (*trade-offs*) – o princípio da "estratégia certa, no lugar certo" (DODD; SHARPLEY, 2016). Além disso, novas informações e avaliações do desempenho exigem o refinamento

contínuo das práticas conservacionistas (Figura 3), de modo que a gestão adaptativa é quase universalmente necessária (KLEINMAN et al.; 2015).



Figura 3. Inovação e adaptação regulares são necessárias para garantir que as práticas conservacionistas complementem e aprimorem os sistemas de manejo existentes. Este implemento foi projetado para aplicar o fósforo em faixas sob a superfície do solo; neste caso, sob a palhada de trigo de inverno, no outono.

Ao considerarmos a complexidade das interações entre práticas conservacionistas agrícolas, água e manejo do solo, e seus efeitos na qualidade da água, talvez devamos tratar a saúde ambiental como se trata a saúde humana. Ao fazer isso, devemos investir mais esforços para diagnosticar e tratar com precisão as causas profundas da má qualidade da água e também, como objetivo mais amplo, melhorar a saúde ambiental geral.

Os benefícios desta abordagem englobam:

1. **Triagem:** é recomendável direcionar as práticas conservacionistas de manejo de nutrientes, solo e água para os locais onde elas podem gerar mais benefício pelo menor custo. Essa segmentação é uma forma de "triagem", na qual as situações são priorizadas para fazer o melhor uso dos recursos limitados. Por exemplo, a identificação das áreas críticas pode ser uma ferramenta útil para essa finalidade.



"...talvez devamos tratar a saúde ambiental como se trata a saúde humana."

2. Diagnosticar muito cuidadosamente a causa real do problema, de maneira individual: as estratégias de manejo do P devem ser consideradas como tratamentos para a saúde humana, nos quais os benefícios dos medicamentos prescritos, assim como os riscos e os efeitos colaterais, são cuidadosamente considerados e claramente declarados. A fim de assegurar que a causa correta seja identificada, é importante avaliar cada caso individualmente e de forma abrangente, e identificar a causa real dos problemas mais importantes, avaliando os benefícios e os riscos conhecidos (por exemplo, os efeitos colaterais) para essa situação local. Aqui, é necessário considerar as questões sistêmicas, bem como as preocupações imediatas. Por exemplo, as espécies de P dissolvidas ou particuladas são a principal fonte de dano? A fonte de P origina-se do manejo no campo ou da reciclagem do curso de água? A principal via de escoamento do P é o transporte superficial ou o fluxo subsuperficial?

3. Prescrever o “remédio” e tratar o caso individualmente: Uma vez concluído o diagnóstico, o próximo passo é prescrever o “remédio” correto, certificando-se de que ele funciona para aquela situação local, e depois implementar o tratamento com cuidado e precisão. Observa-se que muitas práticas conservacionistas bem estabelecidas diminuem a deterioração da qualidade da água relacionada ao P em uma ampla gama de configurações geográficas e de manejo do solo. Porém, isso pode se traduzir em expectativas irrealistas em relação às práticas conservacionistas, quando tratadas como uma panaceia... eficazes o tempo todo, em todas as situações e sem efeitos colaterais indesejados.

Além disso, são considerados todos os co-benefícios, bem como todos os efeitos colaterais e possíveis incompatibilidades e interações negativas entre as práticas de manejo. Assim como um médico monitora um paciente, é necessário monitorar continuamente as práticas conservacionistas para que, caso sejam detectados efeitos colaterais indesejáveis, as estratégias possam ser alteradas ou, mais comumente, aperfeiçoadas. Também é necessário considerar outros desafios gerais: Como integrar os critérios de perda de P e qualidade da água em uma avaliação geral da saúde ambiental? Como promover o equilíbrio entre os fatores ambientais, por exemplo, perda de P versus perda de N versus gases de efeito estufa? Como equilibrar as perspectivas econômicas, sociais e políticas com os aspectos biofísicos da saúde ambiental?

4. Prestar cuidados contínuos a longo prazo: Semelhante ao valor da dieta saudável a longo prazo e do exercício apropriado para a saúde humana, muitas práticas conservacionistas de manejo de nutrientes, solo e água utilizadas para reduzir as perdas de P no campo requerem esforços sustentados durante um longo período para alcançar os benefícios desejados. No entanto, um dos desafios na adoção dessas práticas de longo prazo é que, para serem eficazes, elas devem ser mantidas por muito tempo depois de iniciado o controle.

CONCLUSÃO

Há muitos desafios a serem vencidos no processo de desenvolvimento e implementação de estratégias locais relevantes, precisas e abrangentes, visando reduzir a perda de P no campo e melhorar a qualidade das águas superficiais. No entanto, se empregarmos algumas das estratégias utilizadas com sucesso no programa de melhoramento da saúde humana para melhorar a saúde ambiental teremos muitas oportunidades para progredir em direção ao manejo mais sustentável da agricultura.

REFERÊNCIAS

DODD, R. J.; SHARPLEY, A. N. Conservation practice effectiveness and adoption: unintended consequences and implications for sustainable phosphorus management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 104, n. 3, p. 373-392, 2016.

IPNI. International Plant Nutrition Institute. **4R Nutrient stewardship portal**. 2014. Disponível em: <<http://www.ipni.net/4R>>. Acesso em nov. 2018.

JARVIE, H. P.; JOHNSON, L. T.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, D. R.; BAKER, D. B.; BRUULSEMA, T. W.; CONFESOR, R. Increased soluble phosphorus loads to Lake Erie: Unintended consequences of conservation practices? *Journal of Environmental Quality*, v. 46, p. 123-132, 2017.

JARVIE, H. P.; SHARPLEY, A. N.; FLATEN, D.; KLEINMAN, P. J. A.; JENKINS, A.; SIMMONS, T. The pivotal role of phosphorus in a resilient water-energy-food security nexus. *Journal of Environmental Quality*, v. 44, p. 1049-1062, 2015.

JARVIE, H. P.; SHARPLEY, A. N.; WITHERS, P. J. A.; SCOTT, J. T.; HAGGARD, B. E.; NEAL, C. Phosphorus mitigation to control river eutrophication: Murky waters, inconvenient truths, and “postnormal” science. *Journal of Environmental Quality*, v. 42, p. 295-304, 2013.

KLEINMAN, P. J. A.; SHARPLEY, A. N.; WITHERS, P. J. A. Implementing agricultural phosphorus science and management to combat eutrophication. *Ambio*, v. 44, n. 2, p. S297-S310, 2015.

MEALS, D. W.; DRESSING, S. A.; DAVENPORT, T. E. Lag time in water quality response to best management practices: a review. *Journal of Environmental Quality*, v. 39, n. 1, p. 85-96, 2010.

SCHINDLER, D. W. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science*, v. 195, n. 4275, p. 260-262, 1977.

SHARPLEY, A. N.; SMITH, S. J. Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. *Soil and Tillage Research*, v. 30, p. 33-38, 1994.

SHARPLEY, A.; JARVIE, H. P.; FLATEN, D.; KLEINMAN, P. Celebrating the 350th anniversary of phosphorus discovery: A conundrum of deficiency and excess. *Journal of Environmental Quality*, v. 47, p. 774-777, 2018.

SHARPLEY, A. N.; JARVIE, H. P.; BUDA, A.; MAY, L.; SPEARS, B.; KLEINMAN, P. Phosphorus legacy: Overcoming the effects of past management practices to mitigate future water quality impairment. *Journal of Environmental Quality*, v. 42, p. 1308-1326, 2013.

SHORTLE, J.; HORAN, R. D. Nutrient pollution: A wicked challenge for economic instruments. *Water Economics and Policy*, v. 3, p. 1650033, 2017.

SMITH, D. R.; KING, K. W.; WILLIAMS, M. R. What is causing the harmful algal blooms in Lake Erie? *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 70, n. 2, p. 27A-29A, 2015.

IFA. International Fertilizer Association. **The Global ‘4R’ Nutrient Stewardship Framework**. Paris, 2009. Available at: <[http://www.ipni.net/ipniweb/portal/4r.nsf/0/BAB4157B488871A385257DF100739D94/\\$FILE/The%20Global%204R%20Nutrient%20Stewardship%20Framework.pdf](http://www.ipni.net/ipniweb/portal/4r.nsf/0/BAB4157B488871A385257DF100739D94/$FILE/The%20Global%204R%20Nutrient%20Stewardship%20Framework.pdf)>. Acesso em 20 nov. 2018.

TIESSEN, K. H. D.; ELLIOTT, J. A.; YAROTSKIC, J.; LOBBA, D. A.; FLATENA, D. N.; GLOZIERB, N. E. Conventional and conservation tillage: Influence on seasonal runoff, sediment, and nutrient losses in the Canadian prairies. *Journal of Environmental Quality*, v. 39, n. 3, p. 964-980, 2010.

VADAS, P. A.; FIORELLINO, N. M.; COALEC, F. J.; KRATOCHVILC, R.; MULKEYD, A. S.; McGRATH, J. M. Estimating legacy soil phosphorus impacts on phosphorus loss in the Chesapeake Bay watershed. *Journal of Environmental Quality*, v. 47, p. 480-486, 2018.

ACESSO DAS PLANTAS AO LEGADO DE FÓSFORO, COM FOCO NOS TRÓPICOS

Luís Ignácio Prochnow¹

Heidi Peterson²

Tom Bruulsema³

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais estudados na nutrição de plantas em todo o mundo e há muita preocupação quanto à disponibilidade de suas reservas para as futuras gerações. Nos solos tropicais, oxidicos e com mineralogia predominantemente do tipo 1:1, o P ganha ainda mais atenção devido ao seu alto potencial de fixação, resultando em formas menos disponíveis para as plantas. Atualmente, as quantidades aplicadas deste nutriente normalmente são superiores às removidas pela colheita, o que resulta em estoque de P sob formas menos disponíveis no solo (ou seja, P residual ou legado de P). Recentemente, pesquisadores vêm calculando esse legado de P e discutindo a possibilidade de aumentar sua recuperação e diminuir a dependência da entrada de P no futuro. No Brasil, o excedente acumulado de P aplicado às terras de plantio entre 1900 e 2016, em relação ao P removido pela colheita no mesmo intervalo de tempo, foi calculado recentemente em cerca de 30 milhões de toneladas (Mt) (WITHERS et al., 2018). Este valor pode ser comparado aos obtidos nos EUA e na Europa Ocidental, de cerca de 40 e 65 Mt, respectivamente, calculados a partir de dados apresentados por Mogollón et al. (2018). Considerando que essas três regiões apresentam sistemas de cultivo altamente produtivos, é razoável se pensar que grandes legados de P possam ter se acumulado em outras regiões com níveis semelhantes de produtividade.

Existem práticas industriais e agronômicas que podem aumentar a eficiência do uso de fósforo desde a mineração da rocha fosfática (RF) até as operações de campo. Recuperar parte do legado de P nos solos parece ser uma opção potencialmente lucrativa. Embora grande parte do legado de P possa ter se transformado ao longo do tempo em formas de baixa disponibilidade, as práticas agronômicas discutidas neste artigo podem ajudar as plantas a acessar algumas dessas formas. O foco encontra-se principalmente nos solos ácidos dos trópicos, mas algumas técnicas podem ser aplicadas a uma variedade de solos ao redor do mundo.

MANEJO DA ACIDEZ DO SOLO COM APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO

A calagem melhora a disponibilidade química dos nutrientes para as plantas. Melhora, ainda, a agregação e a densidade do solo, resultando em maior proliferação de raízes. Quando o pH do solo está ótimo, as plantas desenvolvem sistemas radiculares mais ramificados e extensos, e são capazes de utilizar os nutrien-

tes presentes na superfície e no subsolo. Mudanças no pH do solo afetam a disponibilidade dos vários nutrientes de forma diferente, conforme ilustrado na Figura 1. A disponibilidade da maioria dos nutrientes, incluindo o P, é maior na faixa de pH de 5,8 a 7,0. Além de aumentar a disponibilidade dos nutrientes, um dos benefícios mais importantes da calagem é a redução da atividade dos elementos tóxicos, como Al, e, algumas vezes, Mn e Fe.

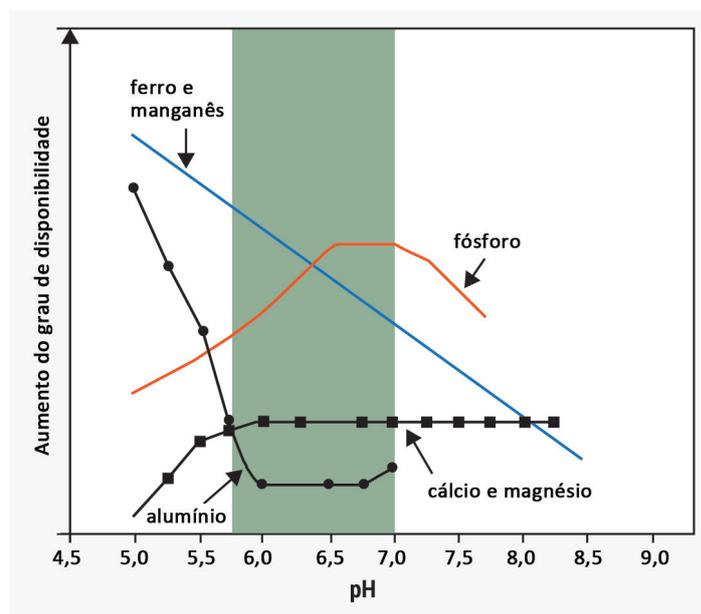


Figura 1. Efeito típico da mudança de pH do solo na disponibilidade de alguns nutrientes e também do alumínio.

Fonte: Adaptada de Malavolta (2006).

Quimicamente, o gesso é um sal neutro, sem efeito direto no pH do solo. No entanto, muitos pesquisadores mostraram que ele pode melhorar a acidez do subsolo, com influências positivas no desenvolvimento das raízes das plantas. Como o gesso tem maior solubilidade em água, comparado ao calcário, ele pode se dissolver e lixiviar através do perfil do solo, adicionando quantidades significativas de Ca e sulfato (SO_4^{2-}) em profundidade. O aumento da concentração de SO_4^{2-} nas camadas mais profundas do solo favorece a formação do sulfato de alumínio (AlSO_4^-), que diminui

Abreviações: Ca = cálcio; Fe = ferro; FG = fosfogesso; P = fósforo; RF = rocha fosfática; Mn = manganês; MOS = matéria orgânica do solo.

¹ Ex-Diretor do International Plant Nutrition Institute (IPNI), Piracicaba, SP; email: Lprochnow@npct.com.br

² Ex-Diretor do IPNI, Programa Fósforo, Stillwater, MN, EUA; email: hpeterson@ipni.net

³ Ex-Vice-Presidente do IPNI (Américas) e Diretor de Pesquisa, Guelph, ON, Canadá; email: tbruulsema@ipni.net

a atividade do Al^{3+} . Como resultado, a toxicidade do Al^{3+} diminui e, ao mesmo tempo, a disponibilidade de Ca aumenta, favorecendo o alongamento das raízes das plantas em subsolo ácido. A Tabela 1 mostra resultados de estudos sobre o desenvolvimento do sistema radicular de plantas, com e sem aplicação de fosfogesso (FG), em diferentes partes do mundo. O FG é um subproduto da produção de ácido fosfórico. Observa-se claramente que a aplicação de FG ajudou a desenvolver sistemas radiculares mais densos, em profundidades além de 30 cm. Uma grande preocupação em relação ao uso do FG é a quantidade de elementos radioativos que ele pode conter. Assim, é necessária uma caracterização cuidadosa do FG antes de utilizá-lo como insumo no combate à acidez do subsolo. Isto normalmente não é um problema no Brasil.

Tanto o calcário como o gesso proporcionam melhores condições de solo, as quais favorecem o alongamento das raízes, o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, aumentam os rendimentos da cultura. Mais raízes significam mais solo explorado e condições mais favoráveis para absorver nutrientes e água. Assim, essas técnicas podem aumentar o acesso ao legado de P.

PLANTIO DIRETO CORRETO

Sabe-se que o plantio direto realizado corretamente, mediante rotação de culturas e manutenção dos resíduos na superfície do solo, proporciona menor erosão, maiores quantidades de matéria orgânica

(MOS) e melhores condições físicas do solo (Figura 1). Os resultados tem sido tão bem-sucedidos que a área sob plantio direto vem aumentando consideravelmente, em relação aos sistemas de preparo convencional, em muitas regiões tropicais do mundo. Um dos efeitos benéficos do plantio direto são os teores mais altos de MOS, protegendo os sítios de adsorção de P e/ou substituindo o P em tais locais, que promovem maior disponibilidade de P. Além disso, melhores condições físicas do solo promovem maior área explorada pelas raízes e maior chance de absorção de P. Entre outros, esses efeitos indicam que o plantio direto pode contribuir para aumentar a utilização do legado de P pelas plantas.

ROTAÇÃO DE CULTURAS E CONSÓRCIO DE CULTURAS DE GRÃOS COM GRAMÍNEAS

Recentemente, vários estudos mostraram as vantagens da integração das culturas de grãos com certos tipos de gramíneas visando aumentar a saúde do solo e a produção (Figura 2). Muitas gramíneas têm sistemas radiculares robustos e profundos, apresentam alta tolerância ao estresse hídrico e, conseqüentemente, podem se desenvolver bem em condições adversas à maioria das culturas de grãos e algumas culturas de cobertura convencionais.

Muitos pesquisadores também notaram que algumas dessas gramíneas melhoram o ciclo e a disponibilidade de nutrientes no solo, particularmente de P. Como exemplo, a Figura 3 mostra o aumento no teor de P disponível entre 5 e 30 cm de profundidade

Tabela 1. Efeito da aplicação de fosfogesso (FG) no desenvolvimento de sistemas radiculares em diferentes profundidades de solo, em diferentes culturas e em diferentes partes do mundo.

Profundidade do solo (cm)	Densidade de raízes de milho (África do Sul) ¹		Distribuição relativa de raízes de milho (Brasil) ²		Densidade de raízes de macieira (Brasil) ³		Comprimento de raízes de alfafa (EUA) ⁴	
	Controle	Fosfogesso	Controle	Fosfogesso	Controle	Fosfogesso	Controle	Fosfogesso
	----- (mg dm ⁻³) -----		----- (%) -----		----- (cm g ⁻¹) -----		----- (m m ⁻³) -----	
0-15	3,10	2,95	53	34	50	119	115	439
15-30	2,85	1,60	17	25	60	104	30	194
30-45	1,80	2,00	10	12	18	189	19	196
45-60	0,45	3,95	18	19	18	189	10	112
60-75	0,08	2,05	12	10	18	189	16	128

Fontes: ¹Farina e Channon (1988); ²Sousa e Ritchey (1986); ³Pavan e Bingham (1986); ⁴Sumner e Carter (1988).



Figura 1. Cultura de feijoeiro sob plantio direto realizado corretamente. Observe as quantidades favoráveis de resíduos das culturas anteriores na superfície do solo.



Figura 2. Consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*.

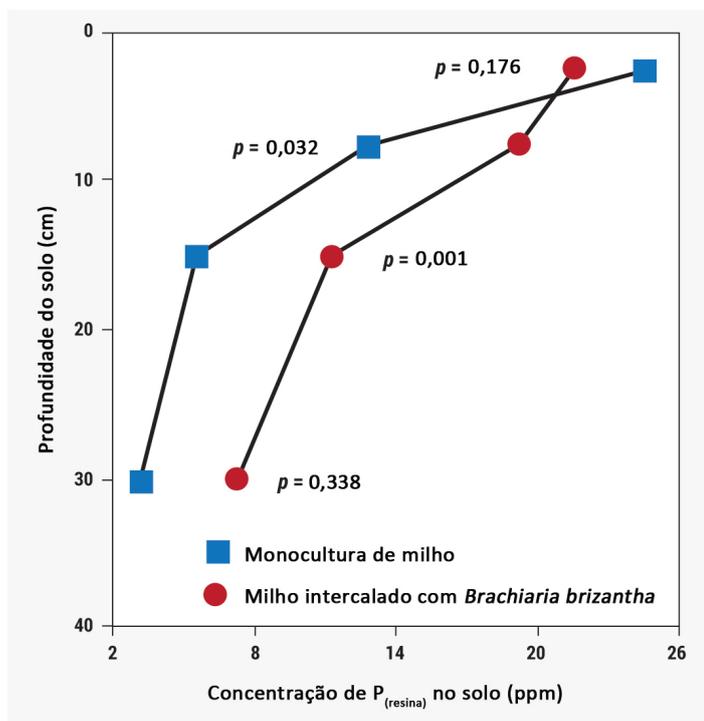


Figura 3. Sistemas agrícolas que incluem gramíneas podem aumentar o teor de P disponível no perfil do solo em sistemas de plantio direto bem manejados.

Fonte: Crusciol et al. (2015).

quando o milho foi consorciado com a braquiária (*Urochloa brizantha*), diferente da monocultura de milho. Há indícios de que o aumento da concentração de P é devido à extração de formas lentamente solúveis do elemento pela braquiária. Estudos de campo realizados no Brasil indicaram que a recuperação de P em sistemas de cultivo com mais de 15 anos que incluíram gramíneas, como *Urochloa brizantha* e *Panicum maximum*, pode ser da ordem de 85% ao longo dos anos, enquanto em culturas solteiras de soja e/ou de milho foram recuperados apenas 40% do P. Estes resultados sugerem que o legado de P pode ser melhor aproveitado pelas plantas quando gramíneas são consorciadas ou utilizadas em sequência a outras espécies.

Devido às diferenças nos ecossistemas e nas características das plantas, é importante estudar o tipo adequado de rotação de culturas para cada região. Não há regra geral na recomendação de uma sequência de culturas para as diversas áreas agrícolas do mundo, mas manter a cobertura verde sobre o solo durante boa parte do ano geralmente contribui para o aumento do teor de carbono no solo, o que, com o tempo, será agronomicamente e ambientalmente benéfico.

A rotação de culturas e as práticas de cultivo que aumentam o teor de MOS só serão bem sucedidas quando o teor de P no solo estiver adequado ao crescimento das plantas. Entradas de fósforo, por meio da adubação, muitas vezes são necessárias para obter essa condição. Isso significa que essas práticas não serão eficazes em solos com baixo teor de P disponível para as plantas. A fertilidade do solo precisa ser construída ao longo do tempo para que outras práticas sejam efetivas.

CULTURAS E CULTIVARES EFICIENTES NA ABSORÇÃO DE FÓSFORO

Diferentes culturas apresentam diferentes exigências em relação à disponibilidade de P no solo. Como exemplo, estima-se que a soja necessite de uma concentração de P na solução do solo 20 vezes maior do que a cultura de amendoim para atingir

95% de seu rendimento máximo. Além disso, algumas espécies desenvolvem estratégias para melhorar sua capacidade de absorver o P do solo, aprimorando sua habilidade em utilizar as formas menos lábeis de P sob condições limitantes. Estas estratégias incluem melhor eficiência de absorção (capacidade de absorver maior quantidade de P em condições limitantes de P) e/ou melhor eficiência de uso (capacidade de produzir maior quantidade de matéria seca por unidade de P absorvida). Algumas estratégias de absorção incluem modificação da arquitetura das raízes, desenvolvimento de sistemas radiculares mais amplos, com raízes mais longas e finas, maior razão raiz-parte aérea, exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular e maior associação com micorrizas. Os programas de melhoramento podem utilizar tais características para melhorar o uso de P do solo. Do exposto, fica claro que as espécies de plantas ou os genótipos da mesma espécie que apresentam maior eficiência na absorção de P podem fazer melhor uso do legado de P nos solos.

MANEJO DE NUTRIENTES 4C

Aplicar a fonte certa, na dose certa, na época certa e no local certo é a fórmula para garantir a eficiência no uso dos nutrientes e alcançar maiores rendimentos. Essas práticas, em conjunto com outras práticas de semeadura, proteção de plantas e manejo da irrigação, podem melhorar o desenvolvimento das plantas, favorecendo sua saúde, o alongamento das raízes e, conseqüentemente, aumentar a absorção de água e nutrientes. Como exemplo, fica claro que o posicionamento do P no sulco de plantio, e não apenas a sua aplicação a lanço, na superfície do solo, pode proporcionar alongamento radicular e permitir a exploração de maior volume de solo, o que, com o tempo, pode resultar em maior utilização do legado de P por diferentes culturas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as práticas descritas anteriormente devem ser seriamente consideradas nos planos estratégicos de recuperação de parte do legado de P dos solos tropicais, o que otimizará os recursos, beneficiando os agricultores e a segurança alimentar a médio e longo prazos. Espera-se que o desenvolvimento científico resulte na disponibilidade de novas tecnologias de manejo, variedades de plantas e produtos para proteção de plantas que possam levar ao melhor uso do legado de P do solo.

REFERÊNCIAS

- CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; BORGHI, E.; SORATTO, R. P.; MARTINS, P. O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisade-grass cover crops. *Agronomy Journal*, v. 107, p. 2271-2280, 2015.
- FARINA, N. P. W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration: I. A comparison of several mechanical procedures. *Soil Science Society of American Journal*, v. 52, n. 1, p. 169-175, 1988.
- MALAVOLTA, E. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- MOGOLLÓN, J. M.; BEUSEN, A. H. W.; van GRINSVEN, H. J. M.; WESTHOEK, H.; BOUWMAN, A. F. Future agricultural phosphorus demand according to the shared socioeconomic pathways. *Global Environmental Change*, v. 50, p. 149-163, 2018.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Effects of phosphogypsum and lime on yield, root density, and fruit and foliar composition of apple in Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF PHOSPHOGYPSUM, 2., 1986. *Condensed Papers...* s.l., s.ed., p. 51-58.
- SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, DF, 1985. *Anais...* Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p. 119-144.
- SUMNER, M. E.; CARTER, E. Amelioration of subsoil acidity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, n. 7, p. 1309-1317, 1988.
- WITHERS, P. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Nature Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 2537, 2018.

DIVERSIDADE DE PLANTAS COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO

Carlos Alexandre Costa Crusciol¹
João Paulo Gonsiorkiewicz Rigon²

Juliano Carlos Calonego³
Rogério Peres Soratto⁴

Rotações de culturas associadas ao manejo da conservação do solo têm sido adotadas como estratégias adequadas para melhorar a saúde do solo e a disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, os sistemas de monocultura não permitem o manejo sustentável do solo por meio da reciclagem de nutrientes. O aumento da quantidade e da qualidade dos resíduos agrícolas em sistemas de cultivo diversificados promove múltiplos benefícios ao ecossistema, como a reciclagem de nutrientes e o aumento da matéria orgânica do solo. Os impactos variam amplamente de acordo com as espécies de plantas utilizadas, a composição dos resíduos, a classe textural do solo, o clima, o manejo do solo e as suas interações. No entanto, pouca atenção tem sido direcionada para a compreensão das relações entre a diversidade funcional das plantas, a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade de fósforo (P) no solo (FAUCON et al., 2015). Neste artigo, destacam-se algumas estratégias para melhorar a disponibilidade de P nos sistemas de cultivo.

LIBERAÇÃO DE FÓSFORO PELA DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS CULTURAS

O impacto indireto na disponibilidade de P para as plantas pode ser atribuído à composição bioquímica dos resíduos vegetais dos sistemas de cultivo, incluindo as relações C:N e C:P, bem como à biodiversidade do solo. A concentração de P nos resíduos da cultura é o principal fator que determina se o P será mineralizado no curto prazo durante a decomposição do resíduo. Essas características podem promover diversidade microbiana, causando efeitos positivos na disponibilidade de P e no crescimento da cultura.

No tecido da planta, a fração de fósforo inorgânico solúvel (Pis) representa a maior parte do P, armazenado principalmente no vacúolo, que é liberado nos estádios iniciais de mineralização do resíduo da cultura. No entanto, as frações mais recalcitrantes de P tendem a ter suas proporções aumentadas nos resíduos, pois estão presentes em compostos orgânicos que dependem da composição bioquímica do resíduo da cultura e da mineralização para a liberação do P. Em geral, espécies de plantas que apresentam baixa relação C:N e baixo teor de lignina apresentam maior taxa de liberação de P, enquanto as espécies com maior relação C:N e maior teor de lignina liberam o P ao longo do tempo. Os resíduos das culturas de cereais tendem a apresentar menores concentrações de P e maiores relações C:P e

C:N, o que resulta em menor potencial de mineralização durante a decomposição, em comparação com culturas com menores relações. Portanto, sob condições de baixo teor de P inorgânico (Pi), o Pi do solo pode ser assimilado pela biomassa microbiana, diminuindo a disponibilidade de P para a cultura. Nesse sentido, o sistema de cultivo tem o potencial de limitar ou aumentar a disponibilidade de P no solo.

Os sistemas de cultivo, como reguladores do fornecimento de nutrientes para as plantas, devem ser direcionados para aumentar a reciclagem de P do resíduo (Figura 1). A inclusão de capim-braquiária (*Urochloa brizantha*) na rotação de culturas promove maior disponibilidade de nutrientes no solo, aumentando a produção de soja, aveia branca e milho como culturas principais (CRUSCIOL et al., 2015). Em um experimento sobre rotação de culturas para avaliar o impacto da braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*) no rendimento de soja observou-se que a braquiária não afetou o rendimento da soja, em comparação com um campo de pousio (MERLIN et al., 2013). No entanto, o cultivo de braquiária ruziziensis por anos consecutivos no mesmo local resultou em diminuição no rendimento da soja, em comparação com a leguminosa como monocultura (ALMEIDA et al., 2018). Segundo os autores, a braquiária ruziziensis pode manter o P imobilizado nos resíduos da cultura, afetando a nutrição fosfatada da soja. Portanto, a liberação de P pela mineralização dos resíduos agrícolas pode estar relacionada à sincronia entre a disponibilidade de P no solo, o processo de mineralização e a demanda da cultura principal.

Algumas plantas apresentam maior capacidade de absorver o P sob baixa concentração no solo pelo aumento da atividade da fosfatase, acumulando, depois, o P em seus tecidos (FAUCON et al., 2015). Isso pode reduzir a fixação química por diminuir o tempo de exposição do P às partículas do solo. Essa estratégia pode ser importante em solos altamente intemperizados. Outra estratégia para aumentar a absorção de P pelas plantas inclui a associação micorrízica arbuscular. As micorrizas fornecem uma via eficaz pela qual o P é retirado de grandes volumes de solo e rapidamente entregue às células corticais da raiz, sem a necessidade da absorção direta (SMITH et al., 2011). No entanto, a diversidade de respostas à inoculação com fungos micorrízicos é amplamente reconhecida devido às condições do ecossistema e às estratégias de manejo de cultivo.

Abreviações: Al = alumínio; C = carbono; Fer = ferro; N = nitrogênio; P = fósforo; Pi = fósforo inorgânico; Pis = fósforo inorgânico solúvel; Po = fósforo orgânico.

¹ Professor Titular, Faculdade de Ciências Agronômicas, FCA/UNESP, Departamento de Ciência do Solo, Botucatu, SP; email: crusciol@fca.unesp.br

² Professor Doutor, Faculdade de Ciências Agronômicas, FCA/UNESP, Botucatu, SP; email: jprigon@fca.unesp.br

³ Professor Doutor, Faculdade de Ciências Agronômicas, FCA/UNESP, Botucatu, SP; e-mail: juliano@fca.unesp.br

⁴ Professor Doutor, Faculdade de Ciências Agronômicas, FCA/UNESP, Botucatu, SP; e-mail: soratto@fca.unesp.br



Figura 1. As braquiárias *Urochloa ruziziensis* (à esquerda) e *Urochloa brizantha* (à direita) foram estudadas no Brasil com o objetivo de avaliar seu impacto na disponibilidade de fósforo para as principais culturas no sistema de rotação.

MOBILIZAÇÃO DO FÓSFORO POUCO LÁBEIS DO SOLO

Embora não existam muitos casos, algumas espécies de plantas de cobertura conseguem absorver eficientemente as formas menos lábeis de P do solo. A introdução dessas espécies nos sistemas de cultivo pode aumentar a disponibilidade de P para as principais culturas agrícolas, ou seja, aquelas com menor capacidade de mobilizar as formas menos lábeis de P. Espécies de plantas mobilizadoras de P melhoram a nutrição fosfatada pela liberação de fosfatases ácidas ou fitases na rizosfera – característica peculiar da rizosfera dos sistemas de cultivos múltiplo. Nessas condições, elas hidrolisam o P orgânico (Po) para liberar o Pi, prótons e/ou carboxilatos nos solos, diminuindo a sorção do P nos óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Malato e citrato são carboxilatos que mobilizam o P ligado ao Ca em solo calcário e o P ligado a óxidos e hidróxidos de Fe e Al em solos ácidos (HINSINGER, 2001). Por exemplo, o feijão-fava libera prótons, malato e citrato na rizosfera, mobilizando o P insolúvel do solo. O grão-de-bico acessa o Po mediante exsudação de fosfatases ácidas, que hidrolisam o Po em Pi, facilitando a aquisição de P pelo trigo ou milho cultivados em

sistema consorciado (LAMBERS et al., 2011). De acordo com a literatura, alguns sistemas consorciados têm sido empregados para estimular a facilitação interespecífica na aquisição de P por espécies que mobilizam o P: consórcio de trigo com tremoço branco/grão-de-bico (ambas as espécies são mobilizadoras de P), consórcio de sorgo com guandu (espécie mobilizadora de P); consórcio de milho com amendoim/feijão-fava (ambas as espécies mobilizadoras de P) (LI et al., 2007, 2014).

O consórcio de plantas mobilizadoras e não-mobilizadoras de P cria um nicho temporal e espacial que aumenta a capacidade de exploração do P do solo, colonizando o perfil e aumentando o volume total de solo ocupado por essas espécies, comparado ao sistema de monocultura (LI et al., 2014).

Pesquisas que relacionam o aumento de rendimento decorrente da interação entre as espécies e a melhoria na nutrição fosfatada têm sido limitadas, mas alguns exemplos estão listados na Tabela 1. Existe um consenso, com base nas pesquisas, de que aumentar a disponibilidade de P no solo nos sistemas de cultivo requer: manejo do solo e adubação fosfatada, incorporando espécies



Figura 2. O grão-de-bico (à esquerda) e o feijão-fava (à direita) mobilizam ou facilitam o acesso às formas menos lábeis de fósforo no solo.

Tabela 1. Exemplos de rotações de culturas nas quais o aumento de rendimento foi atribuído, em parte, à melhoria da nutrição fosfatada.

Cultura principal	Sistema de cultivo	Produtividade (t ha ⁻¹)	Referência
Milho	Monocultura	12,8	Li et al. (2007) ¹
	Rotação feijão-fava/milho	18,9	
	Consórcio contínuo com feijão-fava	17,3	
Milho	Monocultivo	9,1	Wang et al. (2014) ²
	Consórcio com feijão-fava	11,0	
	Consórcio com soja	12,6	
	Consórcio com grão-de-bico	12,4	
Batata	Monocultura	35,5	Gitari et al. (2018) ³
	Consórcio com ervilha	37,7	
	Consórcio com feijão comum	40,3	
	Consórcio com <i>Lablab purpureus</i>	43,1	
Trigo	Rotação arroz/trigo	2,4	Bai et al. (2013) ⁴
	Rotação milho/trigo	2,7	
	Rotação soja e milho/trigo	3,1	
Soja	Após dois anos de milho/pousio	3,4	Crusciol et al. (2015) ⁵
	Após 2 anos de milho em consórcio com <i>U. brizantha</i>	3,7	
Aveia branca	Após dois anos de milho/pousio/soja	1,5	Crusciol et al. (2015) ⁵
	Após dois anos de milho intercalado com <i>U. brizantha</i> /soja	1,9	
Milho	Após dois anos de milho/pousio/soja/aveia branca	8,7	Crusciol et al. (2015) ⁵
	Após dois anos de milho intercalado com <i>U. brizantha</i> /soja/aveia branca	9,9	

Tipo de influência na disponibilidade de P

¹ O feijão-fava facilita a absorção de P pelo milho porque acidifica a sua rizosfera e exsuda malato e citrato, mobilizando o P insolúvel do solo.

² O consórcio aumenta a atividade da fosfatase ácida do solo, em comparação com o monocultivo.

³ Sugerem que o *Lablab purpureus* produz exsudatos, como fosfatases e carboxilatos, aumentando a disponibilidade de P para a cultura acompanhante.

⁴ Sugerem a liberação de prótons e a exsudação de carboxilatos pelas raízes do milho e a mobilização do Pi do solo, em solo calcário.

⁵ Sugerem a ação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular exsudados pelas raízes.

com capacidade de mobilizar o P insolúvel do solo em sistemas de monocultivo, e melhor compreensão do processo de liberação de P na decomposição dos resíduos das culturas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudar a reciclagem de P nos sistemas de cultivo com foco na disponibilidade de P é um desafio, devido às interações solo-planta. As estratégias resumidas neste artigo abordam o manejo do solo para aumentar a disponibilidade de P, com foco na reciclagem de P e na mudança do equilíbrio entre as frações de P do solo para as frações disponíveis nas plantas nos sistemas de cultivo. Grandes esforços são necessários neste campo de pesquisa aplicada para manter estratégias sustentáveis no manejo dos sistemas de cultivo em relação à reciclagem de P nas culturas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.; ROCHA, K.; SOUZA, M.; DELAIA, L.; ROSELEM, C. Soil phosphorus bioavailability and soybean grain yield impaired by ruzigrass. *Agronomy Journal*, v. 110, p. 654-663, 2018.

BAI, Z.; LI, H.; YANG, X.; ZHOU, B.; SHI, X.; WANG, B.; LI, D.; SHEN, J.; CHEN, Q.; QIN, W.; OENEMA, O.; ZHANG, F. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types. *Plant and Soil*, v. 372, p. 27-37, 2013.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; BORGHI, E.; SORATTO, R. P.; MARTINS, P. O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. *Agronomy Journal*, v. 107, p. 2271-2280, 2015.

FAUCON, M. P.; HOUBEN, D.; REYNOIRD, J. P.; MERCADAL-DULAURENT,

A. M.; ARMAND, R.; LAMBERS, H. Advances and perspectives to improve the phosphorus availability in cropping systems for agroecological phosphorus management. *Advances in Agronomy*, v. 134, p. 51-79, 2015.

GITARI, H. I.; KARANJA, N. N.; GACHENE, C. K. K.; KAMAU, S.; SHARMA, K.; SCHULTE-GELDERMANN, E. Nitrogen and phosphorus uptake by potato (*Solanum tuberosum* L.) and their use efficiency under potato-legume intercropping systems. *Field Crops Research*, v. 222, p. 78-84, 2018.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. *Plant and Soil*, v. 237, p. 173-195, 2001.

LAMBERS, H.; FINNEGAN, P. M.; LALIBERTÉ, E.; PEARSE, S. J.; RYAN, M. H.; SHANE, M. W.; VENEKLAAS, E. J. Phosphorus nutrition of Proteaceae in severely phosphorus-impooverished soils: are there lessons to be learned for future crops? *Plant Physiology*, v. 156, p. 1058-1066, 2011.

LI, L.; TILMAN, D.; LAMBERS, H.; ZHANG, F. S. Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytologist*, v. 203, p. 63-69, 2014.

LI, L.; LI, S. M.; SUN, J. H.; ZHOU, L. L.; BAO, X. G.; ZHANG, H. G.; ZHANG, F. S. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *PNAS*, v. 104, p. 11192-11196, 2007.

MERLIN, A.; HE, Z. L.; ROSELEM, C. A. Ruzigrass affecting soil-phosphorus availability. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, p. 1583-1588, 2013.

SMITH, S. E.; JAKOBSEN, I.; GRONLUND, M.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiology*, v. 156, p. 1050-1057, 2011.

WANG, Z. G.; JIN, X.; BAO, X. G.; LI, X. F.; ZHAO, J. H. et al. Intercropping enhances productivity and maintains the most soil fertility properties relative to sole cropping. *PLOS ONE*, v. 9, n. 12, p. e113984, 2014.

O FUTURO DO FÓSFORO NA AGRICULTURA

Michael J. McLaughlin¹



Dado o fato bem conhecido de que o fósforo (P) é um componente essencial de muitas biomoléculas em nosso corpo e que a população humana continuará a aumentar pelo menos nas próximas cinco décadas (UNITED NATIONS, 2017), o uso de P na agricultura continuará a avançar por algum tempo no futuro. Os sistemas agrícolas são, por definição, em sua maioria, sistemas abertos, devido à exportação de nutrientes nos produtos agrícolas utilizados para alimentar esta crescente população. Portanto, sempre haverá necessidade de repor o P exportado via adubação, tendo em vista que as taxas de intemperismo do solo são muito lentas para coincidir com as taxas de remoção de P pela colheita (CHADWICK et al., 1999).

Talvez a grande mudança no futuro possa ser a fonte de P utilizada na agricultura em alguns países – a fonte de P utilizada como insumo agrícola mudou nos últimos 5.000 anos (ASHLEY et al., 2011), do uso exclusivo de estrume humano e animal (que é essencialmente a transferência horizontal do P na biosfera) para o processamento e uso de fosfatos de rochas ígneas e sedimentares, que representam, essencialmente, o movimento vertical e horizontal do P da geosfera para a biosfera. Atualmente, pelo menos em alguns países desenvolvidos, há um movimento de volta, de recuperação do P de efluentes humanos e animais para reutilização na agricultura (DESMIDT et al., 2015). No entanto, a adoção em grande escala dessas tecnologias tem sido lenta, visto que o custo por unidade de P ainda é maior do que o custo da unidade de P minerada. O custo isolado, no entanto, não leva em conta as externalidades relativas

ao consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa (GEE) que ocorrem durante a fabricação e o transporte do insumo. Uma comparação do impacto ambiental causado por quatro formas de P utilizadas na agricultura – superfosfato triplo (SFT), estruvita, lodo de esgoto e P recuperado das cinzas de esgoto – revelou que o uso de P proveniente da aplicação de lodo de esgoto em terras agrícolas apresentou menor consumo de energia e menor emissão de GEE, no entanto, seu uso é comprometido pelos contaminantes no material, como, por exemplo, cádmio ou produtos químicos orgânicos permanentes (LINDERHOLM et al., 2012). A recuperação de P a partir das cinzas de esgoto foi a opção que exigiu mais energia e gerou maiores emissões de GEE, comparada ao P minerado (SFT) e à estruvita. O P minerado foi a opção que gerou menores gastos de energia durante o seu ciclo (Figura 1). Além disso, um ponto importante a ser observado em relação à utilização de tecnologias para a recuperação de P dos resíduos é que a eficiência de recuperação raramente será próxima a 100% (LINDERHOLM et al., 2012). Portanto, sempre haverá algum “vazamento” de P para o ambiente, predominantemente para águas e sedimentos frescos e marinhos (WHITE, 1980).

Fechar o ciclo do P é uma meta ambiciosa e certamente há espaço para melhorias na eficiência de uso do P minerado. A eficiência do uso de P na agricultura e a eficiência da obtenção de P a partir do material minerado e da sua transferência para alimentos e resíduos tem sido um assunto de muito estudo e debate (SCHOLZ; WELLMER, 2019). No entanto, até que os fatores econômicos, legislativos

Abreviações: GEE = gases de efeito estufa; N = nitrogênio; P = fósforo; SFT = superfosfato triplo.

¹ Fertilizer Technology Research Centre, Waite Research Institute, School of Agriculture Food and Wine, The University of Adelaide, Glen Osmond, Austrália; email: michael.mclaughlin@adelaide.edu.au.

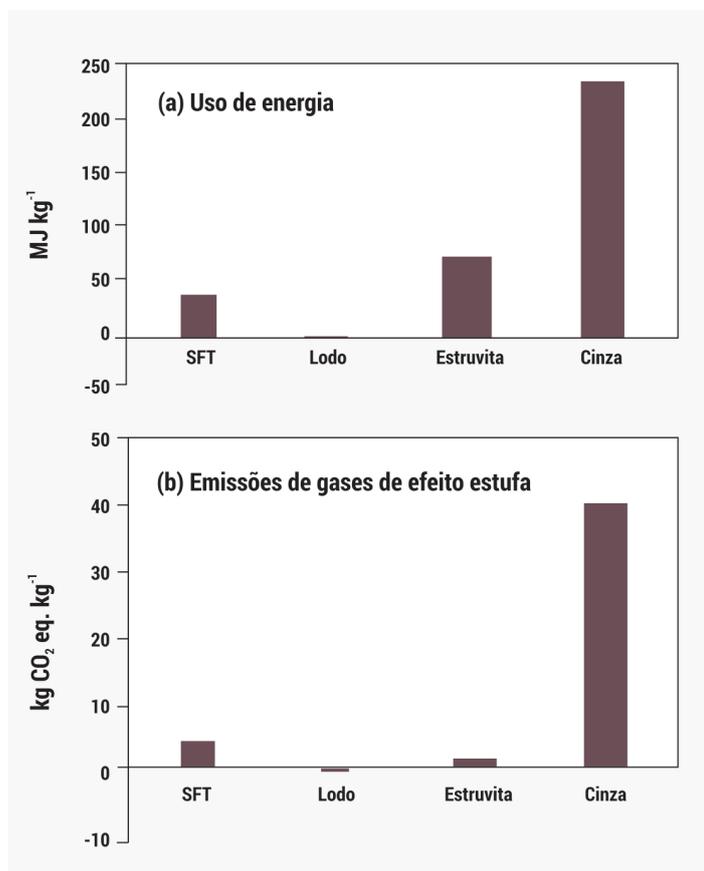


Figura 1. Uso de energia (a) e emissões de gases de efeito estufa (b) por kg de fósforo de quatro fontes fosfatadas utilizadas na agricultura seca. Os valores negativos apresentados pelo lodo são devidos a créditos pelo conteúdo de nitrogênio no material.

Fonte: Redesenhada de Linderholm et al. (2012).

e sociais estejam alinhados e favoráveis, o uso global do P reciclado na agricultura continuará sendo uma pequena porcentagem do total de P utilizado (LINDERHOLM et al., 2012). A eficiência de uso de P na agricultura também é erroneamente mencionada como baixa, quando este não é o caso, porque uma vez que a fertilidade do solo tenha sido construída em relação ao P e a retenção ou “fixação” de P esteja saturada, então as doses de P utilizadas pelos agricultores se reduzem ao nível de “manutenção” e a eficiência do balanço de P aproxima-se de 100% (SYERS et al., 2008; BARROW et al., 2018). Naqueles solos onde os níveis de P são baixos e a retenção de P ainda é forte, ou onde os mecanismos de retenção de P não são saturáveis (por exemplo, nos solos calcários), a eficiência de uso do P é baixa, e são nessas situações que as melhorias na eficiência de uso do P são necessárias por meio de melhoramento de plantas, técnicas agrônômicas ou novas formulações de fertilizantes (McLAUGHLIN et al., 2011). O objetivo é proporcionar aos solos uma eficiência de uso do P de 100% (balanço) e um carregamento menor do legado de P, pois isso traz benefícios agrônômicos e ambientais (SHARPLEY et al., 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na história da humanidade, o P surgiu há 350 anos, porém, na história geoquímica do P o início ocorreu há bilhões de anos. De fato, a origem do P na Terra foi recentemente questionada com a sugestão de que os oxidácidos de P foram sintetizados pela primeira vez a partir da fosfina interestelar e transportados para

a Terra em meteoritos ou cometas (TURNER et al., 2018). Mas não importa a origem do P na Terra... o que importa é que a humanidade foi abençoada com esse elemento essencial e abundante na crosta terrestre. Assim, é fundamental utilizar esse recurso com sabedoria, visando maximizar a produção e a qualidade das colheitas e minimizar os impactos ambientais resultantes do manejo ineficiente do P.

REFERÊNCIAS

- ASHLEY, K.; CORDELL, D.; MAVINIC, D. A brief history of phosphorus: From the philosopher’s stone to nutrient recovery and reuse. *Chemosphere*, v. 84, n. 6, p. 737-746, 2011.
- BARROW, N. J.; BARMAN, P.; DEBNATH, A. Three residual benefits of applying phosphate fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*, v. 82, n. 5, p. 1168-1176, 2018.
- CHADWICK, O. A.; DERRY, L. A.; VITOUSEK, P. M.; HUEBERT, B. J.; HEDIN, L. O. Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, v. 397, p. 491-497, 1999.
- DESMIDT, E.; GHYSELBRECHT, K.; ZHANG, Y.; PINOY, L.; Van der BRUGGEN, B.; VERSTRAETE, W.; RABAEY, K.; MEESCHAERT, B. Global phosphorus scarcity and full-scale P-recovery techniques: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 45, n. 4, p. 336-384, 2015.
- LINDERHOLM, K.; TILLMAN, A.-M.; MATTSSON, J. E. Life cycle assessment of phosphorus alternatives for Swedish agriculture. *Resources Conservation and Recycling*, v. 66, p. 27-39, 2012.
- McLAUGHLIN, M. J.; McBEATH, T.; SMERNIK, R.; STACEY, S.; AJIBOYE, A.; GUPPY, C. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils-implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. *Plant and Soil*, v. 349, p. 69-87, 2011.
- SCHOLZ, R. W.; WELLMER, F.-W. Cycling and anthropogenic use of phosphorus in the 21st century: Geoscientific and geosocial foundations of agriculture. *Better Crops*, v. 103, n. 1, p. 9-12, 2019.
- SHARPLEY, A.; JARVIE, H.; FLATEN, D.; KLEINMAN, P. Celebrating the 350th anniversary of phosphorus discovery: A conundrum of deficiency and excess. *Journal of Environmental Quality*, v. 47, p. 774-777, 2018.
- SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E.; CURTIN, D. (Ed.). **Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: Reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008. (FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 18).
- TURNER, A. M. et al. An interstellar synthesis of phosphorus oxoacids. *Nature Communications*, v. 9, n. 3851, 2018.
- UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World population prospects: The 2017 revision, Key Findings and Advance Tables.** New York, 2017. 53 p. (Working Paper n° ESA/P/WP/248)
- WHITE, R. E. Pathways of phosphorus in soil. In: HUCKER, T. W. G.; CATROUX, G. (Ed.). **Proceedings of a Symposium on Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries.** Boston: D. Reidel Publishing Company, 1980. p. 21-46.

ADSORÇÃO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM RESPOSTA A DOSES DE ÁCIDO HÚMICO EM SOLOS CORRIGIDOS POR CaCO_3 OU MgCO_3

Henrique José Guimarães Moreira Maluf^{1*}, Carlos Alberto Silva¹, Nilton Curi¹, Lloyd Darrell Norton², Sara Dantas Rosa¹.
Ciência e Agrotecnologia, v. 42, n. 1, p. 7-20, 2019.

O ácido húmico (AH) pode reduzir a adsorção e aumentar a disponibilidade de P nos solos; entretanto, a magnitude desse efeito é diferente quando o Ca^{2+} prevalece sobre o Mg^{2+} em solos com acidez corrigida. Objetivou-se avaliar os efeitos de doses de AH e fontes de carbonato na adsorção, fator capacidade de P máximo (FCPm) e disponibilidade de P em solos contrastantes. Amostras de Latossolo e de Gleissolo foram primeiramente incubadas com as seguintes doses de AH: 0, 20, 50, 100, 200 e 400 mg kg^{-1} , combinadas com CaCO_3 ou MgCO_3 , para avaliar a adsorção de P. Em sequência, as amostras de solo foram novamente incubadas com P (400 mg kg^{-1}), para determinar a disponibilidade de P.

Conclusões:

- A aplicação de doses de ácido húmico reduziu a capacidade máxima de adsorção, aumentou a energia de ligação do P e não alterou o FCPm do Gleissolo.
- Os teores de P disponível aumentaram com o acréscimo das doses de AH no Latossolo (Figura 1), contudo, não foram alterados no Gleissolo.
- A escolha da dose adequada de ácido húmico reduz a capacidade máxima de adsorção e a energia de ligação nas superfícies dos colóides, bem como diminui a capa-

cidade tamponante máxima do Latossolo argiloso. A dose correta de AH reduziu o FCPm em até 40% e aumentou a disponibilidade de P no Latossolo em 17%.

- A aplicação de MgCO_3 em vez de CaCO_3 reduziu a adsorção de P em ambos os solos. Assim, houve correlação positiva entre o teor de Ca^{2+} e a FCPm.
- A dose ótima de AH e a predominância de Mg^{2+} sobre Ca^{2+} no volume de solo adubado com P são práticas efetivas para reduzir a adsorção e aumentar a disponibilidade de P, especialmente no Latossolo argiloso.
- A inibição da adsorção de P causada pela utilização de ácido húmico no Latossolo aumenta a disponibilidade de P, com maior recuperação de P pela resina do que pelo teste do solo Mehlich-1 (Figura 1).
- A adição de ácido húmico extraído da leonardita aos latossolos brasileiros argilosos é uma estratégia eficaz para diminuir a adsorção de P e aumentar a disponibilidade de P no solo.
- A dose ótima de AH e a predominância de Mg^{2+} sobre Ca^{2+} no volume de solo adubado com P são práticas efetivas para reduzir a adsorção e aumentar a disponibilidade de P, especialmente, no Latossolo argiloso.

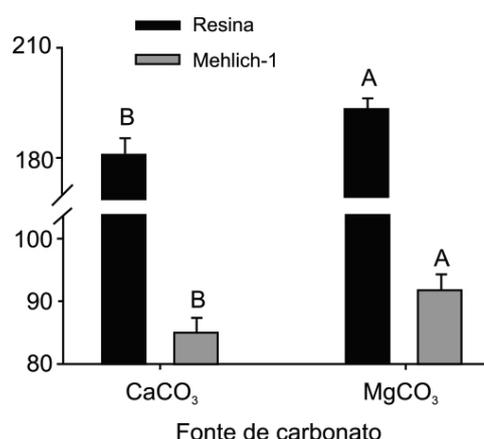
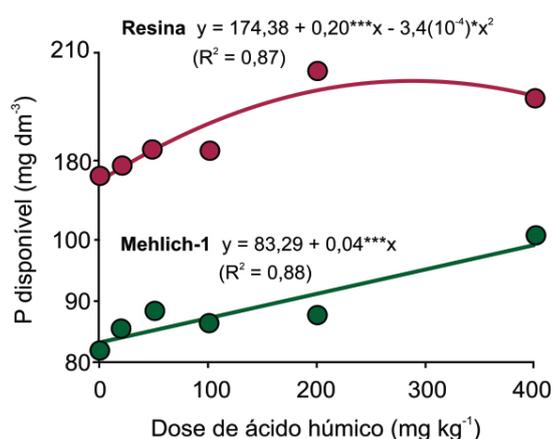


Figura 1. Teores de P resina e P Mehlich-1 em amostras de Latossolos tratados com doses de ácido húmico (AH) e fontes de carbonato (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$). Médias seguidas pela mesma letra não são estatisticamente diferentes pelo teste F ($p < 0,05$). Barras representam o erro padrão da média.

¹ Universidade Federal de Lavras/UFLA, Departamento de Ciência do Solo, Lavras, MG, e-mail: maluf.henrique@yahoo.com.br

² Purdue University, Department of Agricultural and Biological Engineering, West Lafayette, Indiana, EUA.

PAINEL AGRONÔMICO

TÉCNICA DE ULTRASSOM PODE DEIXAR GRÃOS MAIS NUTRITIVOS

Estudo desenvolvido na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP) usa tecnologia de ultrassom de alta potência para hidratação de feijão e milho.

Em escala industrial, a hidratação de grãos demanda tempo e gasto de energia, o que leva em média oito a 14 horas para a realização de todo o processo. Utilizando ultrassom, o tempo foi reduzido para cinco a seis horas, explica Alberto Claudio Miano Pastor, autor da pesquisa que teve orientação do professor Pedro Esteves Duarte Augusto, do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da ESALQ.

Além de mais rápido e barato, a tecnologia de ultrassom permite a adição de componentes ao produto, como ferro e vitaminas. “A aceleração desse processo, no caso do feijão, por exemplo, ocorre na indústria a partir do aumento da temperatura, o que pode prejudicar o produto e consumir grande quantidade de energia. Aqui, nós aceleramos o processo sem aumentar a temperatura e ainda incluímos ferro, um componente que combate a anemia, um problema grave em países em desenvolvimento”, declara Pastor.

Segundo o pesquisador, a hidratação é uma etapa inicial do processo de industrialização e pode ser empregada em diversas finalidades: no cozimento do grão, na germinação, na malteação e na produção de brotos (ESALQ).

COINOCULAÇÃO GERA MAIS LUCRO NA SOJA

Durante a safra 2017/2018, cerca de 90% das lavouras comerciais de soja assistidas pelo Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater PR) que adotaram a inoculação da semente com as bactérias *Bradyrhizobium* tiveram um aumento médio de 1,8 saca por hectare. Já as propriedades que empregaram a coinoculação (formulação das bactérias *Bradyrhizobium* + *Azospirillum*) observaram aumento de 5,6 sacas por hectare. “Esses resultados indicam resposta positiva consistente da integração dessas práticas e enfatizam a importância da sua adoção anual”, afirma Marco Antonio Nogueira, pesquisador da Embrapa Soja (PR).

As tecnologias da inoculação e da coinoculação têm sido objeto de intensas atividades de transferência com os agricultores do Paraná. O projeto conduzido pelo Instituto Emater PR e a Embrapa em 35 Unidades de Referência (URs) instaladas em áreas de produtores de soja na região mostrou que, nas áreas assistidas, o lucro líquido do uso da inoculação foi de R\$ 126,60 por hectare e o da coinoculação, R\$ 390,00 por hectare.

“O mais relevante é que os ganhos de produtividade promovem melhores rentabilidades e a tecnologia é de baixo custo”, relata o coordenador do Projeto Grãos, da Emater PR, Nelson Harger. (EMBRAPA)

ASSINATURA DO JORNAL INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

O Informações Agronômicas é um jornal de periodicidade trimestral que oferece artigos selecionados, com conteúdo de qualidade, elaborados pelos maiores especialistas do Brasil nas áreas de Fertilidade do Solo, Fertilizantes, Adubação e Nutrição de Plantas.

Conta com seções diversas, como Divulgando a Pesquisa, Painel Agronômico, Calendário de Eventos e Publicações Recentes.

Assine o nosso jornal digital e desfrute de todas essas vantagens!!



<https://www.npct.com.br/assinaturas>

ASSINE JÁ!

CURSOS, SIMPÓSIOS E OUTROS EVENTOS

1. 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS ARENOSOS

Local: Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Av. Dom Antonio Barbosa, 4.155, Campo Grande, MS

Data: 7 a 10/MAIO/2019

Informações: F&B Eventos

Email: sbsa2019@fbeventos.com

Website: <http://www.sbsa2019.com.br>

2. CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE HORTICULTURA

Local: Centro de Cultura e Eventos Prof. Ricardo Freua Bufaiçal, Av. Esperança, s/n, Vila Itatiaia, Goiânia, GO

Data: 22 a 25/MAIO/2019

Informações: Heloiza Soyer

Email: heloiza@wineventos.com.br

Website: <https://www.clbhort2019.com>

3. VI SIMPÓSIO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E MECANIZAÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR

Local: Centro de Convenções, Câmpus da Unesp/FCAV, Jaboticabal, SP

Data: 23 e 24/MAIO/2019

Informações: FUNEP

Email: eventos@funep.org.br

Website: <http://www.funep.org.br>

4. VI REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO

Local: Premium Vila Velha Hotel, Ponta Grossa, PR

Data: 28 a 31/MAIO/2019

Informações: Universidade Estadual de Ponta Grossa

Email: contato@rpcs2019.com.br

Website: <http://www.rpcs2019.com.br>

5. IV SIMPÓSIO EM GESTÃO DO AGRONEGÓCIO

Local: UNESP/FCAV, Jaboticabal, SP

Data: 5 a 7/JUNHO/2019

Informações: UNESP/FCAV

Email: eventos@funep.org.br

Website: <http://sgagro.web1335.kingghost.net>

6. V CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI

Local: Hotel Praia Centro – Fábrica de Negócios, Fortaleza, CE

Data: 5 a 7/JUNHO/2019

Informações: Embrapa Meio-Norte

Telefone: (86) 3198-0500

Website: <http://www.vconac2019.com.br>

7. FEINACOOP 2019 – FEIRA NACIONAL DO AGRONEGÓCIO, BIOENERGIA E COOPERATIVAS

Local: EXPOARA Centro de Eventos, Arapongas, PR

Data: 12 a 14/JUNHO/2019

Informações: Mark Messe

Email: vendas@markmesse.com.br

Website: <http://www.feinacoop.com.br>

8. 26ª HORTITEC

Local: Recinto da Expoflora, Alameda Maurício de Nassau, 675, Holambra, SP

Data: 26 a 28/JUNHO/2019

Informações: RBB Promoções e Eventos

Email: rbb@rbbeventos.com.br

Website: <http://hortitec.com.br>

9. IX SIMPÓSIO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Local: UNIMEP - Campus Taquaral, Rodovia do Açúcar, km 156, Taquaral, Piracicaba, SP

Data: 10 a 12/JULHO/2019

Informações: FEALQ

Fone: (19) 3417-6600

Website: <http://fealq.org.br>

10. 37º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO – CBCS

Local: Centro de Eventos do Pantanal, Av. Bernardo Antônio de Oliveira Neto, s/nº, Jardim Santa Marta, Cuiabá, MT

Data: 21 a 26/JULHO/2019

Informações: Secretaria do CBCS 2019

Email: contato@cbcs2019.com.br

Website: <http://www.cbcs2019.com.br>

11. 12º CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO

Local: Centro de Convenções, Goiânia, GO

Data: 27 a 29/AGOSTO/2019

Informações: Secretaria Executiva

Email: contato@congressodoalgodao.com.br

Website: <http://www.congressodoalgodao.com.br>

12. 29º SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM

Local: COPLACANA, Av. Comendador Luciano Guidotti, 1937, Piracicaba, SP

Data: 5 e 6/SETEMBRO/2019

Informações: FEALQ

Fone: (19) 3417-6600

Website: <http://fealq.org.br>

PUBLICAÇÕES RECENTES

1. A BIOCENOSE DO SOLO NA PRODUÇÃO VEGETAL & DEFICIÊNCIAS MINERAIS EM CULTURAS

Autoria: Ana Maria Primavesi; 2018.

Conteúdo: Esta obra foi originalmente publicada em duas partes: Moderna agricultura intensiva, volume I – A biocenose do solo na produção vegetal, editado em 1964 pela Editora Pallotti (Santa Maria/RS), e Moderna agricultura intensiva, volume II – Deficiências minerais em culturas: nutrição e produção vegetal, editado no ano seguinte pelas Oficinas Gráfica da Livraria do Globo S. A. (Porto Alegre/RS). Por serem complementares, juntou-se os dois volumes, identificados agora por seus antigos subtítulos.

Preço: R\$ 60,00

Número de páginas: 607

Venda: FUNEP

Website: <https://www.editoraufv.com.br>

2. IMPACTO DO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A EMISSÃO DE GÁS DE EFEITO ESTUFA ÓXIDO NITROSO E A PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO NO CERRADO (EMBRAPA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 52)

Autores: Carvalho, G. D. et al.; 2018.

Conteúdo: Determinação da quantidade de óxido nitroso emitido do solo cultivado com arroz irrigado; determinação da quantidade de amônia volatilizada do solo cultivado com arroz irrigado; produtividade de grãos, nitrogênio no tecido vegetal e eficiência de uso do nitrogênio; análise estatística.

Preço: Gratuito, disponível para *download*

Número de páginas: 23

Editora: EMBRAPA

Website: www.embrapa.br

3. SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS – 5ª edição revista e ampliada

Autores: Santos, H. G. et al.; 2018.

Conteúdo: Atributos diagnósticos e outros atributos; horizontes diagnósticos superficiais e horizontes diagnósticos subsuperficiais; níveis categóricos dos sistemas; classificação dos solos até o 4º nível categórico; Argissolos, Cambissolos; Chernossolos; Espodosolos; Gleissolos, Latossolos; Luvisolos, Neossolos; Nitossolos; Organossolos; Planossolos; Plintossolos; Vertissolos; definições provisórias para 5º e 6º níveis categóricos (famílias e séries); critérios para distinção de fases de unidades de mapeamento.

Preço: R\$ 60,00

Número de páginas: 356

Editora: EMBRAPA

Website: www.embrapa.br

4. CULTIVO DA SERINGUEIRA NO PARANÁ

Autores: Pereira, J. P.; Leal, A. C.; Ramos, A. L. M.; 2018.

Conteúdo: Este livro abarca todas as técnicas e etapas necessárias à implantação e condução, com sucesso, de seringais no Paraná. Seguramente, é a mais importante referência para profissionais, professores, estudantes de Ciências Agrárias e produtores do estado interessados no tema.

Preço: R\$ 50,00

Número de páginas: 176

Editor: IAPAR

Website: www.iapar.br

5. SOLOS E AGROECOLOGIA (Coleção Transição Agroecológica - Volume 4)

Editores: Irene Maria Cardoso e Claudenir Fávero; 2018.

Conteúdo: Solos e agroecologia; ressignificar nossas percepções sobre o solo: atitude essencial para manejar agroecossistemas sustentáveis; biologia do solo: construindo a fertilidade dos solos velhos, lixiviados, pobres e malfalados dos trópicos; rochagem: o que se sabe sobre essa técnica?; cuidar do solo para cuidar da água; etnopedologia: buscando o olhar de quem amanha a terra; integração de conhecimentos na construção de uma metodologia para avaliação da qualidade do solo; reflexões sobre interpretações de resultados de análises de solos e recomendações de aplicação de corretivos e fertilizantes; desvendando os segredos da análise de solo: troca de experiências com agricultores familiares; manejo da fertilidade de solos em áreas de pastagem orgânica; a educação em solos na promoção da agroecologia; solo como patrimônio: uma abordagem para o desenvolvimento local e para a agroecologia.

Preço: R\$ 40,00

Número de páginas: 373

Editora: EMBRAPA

Website: www.embrapa.br

6. O ESTRESSE DAS PLANTAS CULTIVADAS & PROTOCOLOS DE ANÁLISE

Organizadores: Gomes, E. R. et al.; 2018.

Conteúdo: Esta obra reúne temas relacionados ao estresse em plantas, com ênfase em diferentes aspectos na aplicação de água de reuso e lodo na agricultura. Versa também sobre técnicas de estudo do estresse, desde o dimensionamento de ensaios de deficiência hídrica a técnicas de avaliação bioquímica de plantas submetidas. Por fim, apresenta capítulos específicos da avaliação fotossintética, ferramenta muito útil para estudo de plantas cultivadas sob estresse.

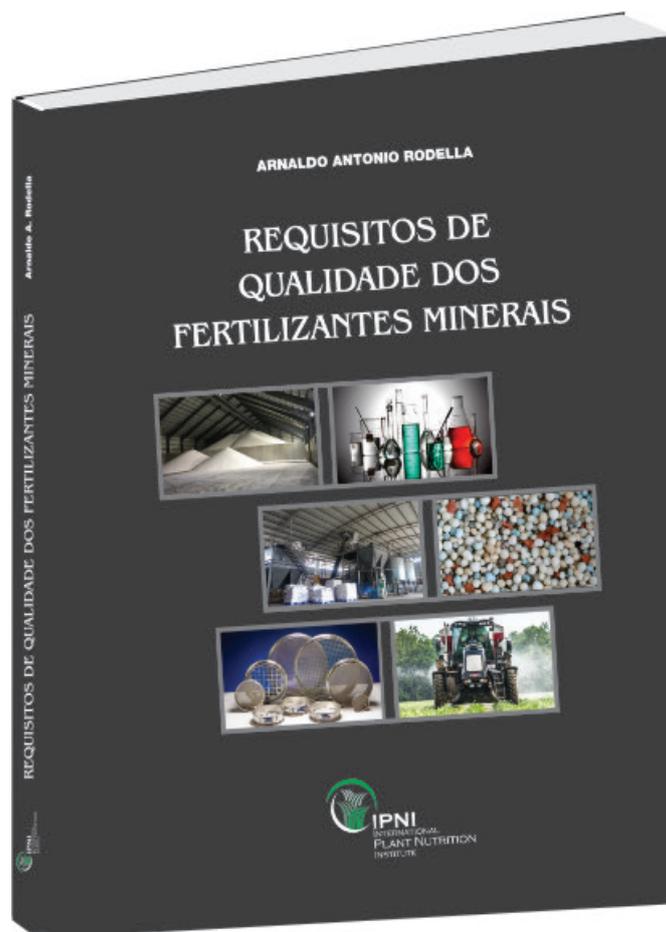
Preço: Gratuito, disponível para *download*

Número de páginas: 110

Editora: FEPAF

Website: www.fepaf.org.br

LANÇAMENTO!!



Autor: Arnaldo Antonio Rodella; 2018.

Conteúdo: O presente livro oferece uma visão abrangente sobre os requisitos de qualidade dos fertilizantes minerais sólidos. Para tanto, são considerados os fundamentos básicos, os métodos de determinação e, sempre que possível, o emprego desses parâmetros em pesquisas envolvendo a qualidade dos fertilizantes.

Preço: R\$ 160,00

Número de páginas: 226

Pedidos: NPCT

Webmail: <https://loja.npct.com.br>

REINVENTAR É PRECISO!

Luís Ignácio Prochnow

Em Dezembro último, ficamos muito surpreendidos com a decisão do Conselho Diretivo do International Plant Nutrition Institute (IPNI) de encerrar as atividades do Instituto no mundo todo. Muitas pessoas entraram em contato conosco mostrando incredulidade a respeito dessa resolução. Após anos de trabalho exemplar, desde 1935, realmente foi difícil aceitar o encerramento de forma tão abrupta. Por semanas fiquei digerindo tal decisão e confesso não ter sido fácil, mas agora o processo de luto acabou. Não há nada que se possa fazer. Ficará sempre o enorme respeito por tudo o que o Instituto representou e continuará a representar através do conhecimento gerado, mas agora faz-se necessário reinventar para continuar contribuindo com a agricultura do Brasil. Nasce, assim, a empresa Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia (NPCT).

A NPCT nasce, basicamente, com a mesma equipe, mesmos objetivos e com a missão renovada de promover pesquisa e educação para o uso eficiente de nutrientes na agricultura. Com um amplo portfólio de serviços, a empresa se dedicará a atender aos seus leitores e clientes com rigor e o mais elevado grau de compromisso e ética.

A mudança deve ser sempre encarada como um processo que oferece novas oportunidades e possibilidades. Já identificamos enormes oportunidades e vamos colocá-las em prática. A atuação na forma de empresa trará maior flexibilidade na tomada de decisões.

Estamos muito animados e com vários projetos já em andamento. Em breve, muitas novidades serão apresentadas a toda comunidade, em especial àqueles que querem aprender mais e aplicar o conhecimento de forma adequada na nutrição das culturas comerciais.



**Nutrição de Plantas
Ciência e Tecnologia**

NUTRIÇÃO DE PLANTAS CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Avenida Independência, nº 350, Edifício Primus Center, sala 141A
Fone/Fax: (19) 3433-3254 / 3422-9812 - CEP 13419-160 - Piracicaba (SP) - Brasil

LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW - Diretor Geral, Engº Agrº, Doutor em Agronomia
E-mail: LProchnow@npct.com.br

EVANDRO LUÍS LAVORENTI - Diretor de TI, Analista de Sistemas
E-mail: Elavorenti@npct.com.br