

CIRCULAR TÉCNICA

54

Planaltina, DF
Janeiro/2022

Atualizações das recomendações de adubação fosfatada para a cana-de-açúcar no Cerrado

Thomaz Adolpho Rein
João de Deus Gomes dos Santos Júnior
Rafael de Souza Nunes
Gaspar Henrique Korndörfer



Atualizações das recomendações de adubação fosfatada para a cana-de-açúcar no Cerrado¹

Introdução

Nas duas últimas décadas, houve grande expansão do setor sucroalcooleiro no Cerrado. A região Centro-Oeste (GO, MT e MS) e o estado de Minas Gerais, com 3,1 milhões de hectares cultivados com cana-de-açúcar na safra 2020/2021, foram responsáveis por 32% da produção nacional (CONAB, 2021). A expansão da cultura no Cerrado se deu principalmente em áreas de pastagens, seguida de áreas de lavouras e, em menor proporção, sobre a vegetação nativa. Ao contrário das lavouras, em geral, as pastagens são muito pouco adubadas na região. Seus solos são comumente ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, aspectos típicos da condição nativa sob vegetação de cerrado, destacando-se a deficiência de fósforo (P) como o principal fator limitante à produção agrícola (Sousa et al., 2004, 2016a).

A adubação fosfatada da cana-de-açúcar no Cerrado era predominantemente baseada em altas doses de P, aplicado exclusivamente na operação de plantio, até 180 kg/ha de P_2O_5 no fundo do sulco. Contudo, tem crescido na região a adoção da adubação fosfatada corretiva na expansão ou reforma do canavial, visando elevar o status de P dos solos, e da adubação fosfatada de manutenção para a cana-soca. Compilações de resultados de pesquisas mostrando os ganhos econômicos de produtividade com essas práticas e recomendações gerais de adubação fosfatada para a cultura no sistema tradicional de cultivo no Cerrado foram apresentadas anteriormente (Rein et al., 2015).

¹ **Thomaz Adolpho Rein**, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo e Culturas, pesquisador da Embrapa Cerrados, Brasília, DF; **João de Deus Gomes dos Santos Júnior**, engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Brasília, DF; **Rafael de Souza Nunes**, engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Brasília, DF; **Gaspar Henrique Korndörfer**, engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor aposentado da Universidade Federal de Uberlândia, consultor agrícola, Uberlândia, MG.

Na presente Circular Técnica, são atualizados alguns aspectos das recomendações de adubação fosfatada da cana-de-açúcar no sistema tradicional de cultivo, de sequeiro ou apenas com irrigação de salvamento na rebrota e com preparo do solo na reforma do canavial. Também são contempladas recomendações para os sistemas de cultivo irrigados, que propiciam altas produtividades, e sistemas conservacionistas com mínima mobilização do solo, como o plantio direto.

Fundamentos para as recomendações de adubação fosfatada da cana-de-açúcar

Na “agricultura baseada em evidências”, a experimentação de campo, com todo o seu rigor científico, é a fonte básica de informações a partir das quais as recomendações aos produtores são elaboradas. Alguns dos principais aspectos que embasam as presentes recomendações de adubação fosfatada para a cana-de-açúcar são apresentados a seguir. Deve-se considerar ainda que as recomendações agrônômicas são continuamente ajustadas considerando novas evidências trazidas pela experimentação.

Neste item e ao longo de todo o texto, são explorados os conceitos “4C” (de certo) relativos ao uso eficiente dos fertilizantes: a fonte certa, na dose certa, aplicada do modo certo e no momento certo (International..., 2013). Esses conceitos já incorporam os principais aspectos do manejo sustentável da adubação fosfatada para a cana-de-açúcar (Soltangheisi et al., 2019b), entre esses, a reciclagem do P com o uso eficiente dos resíduos da produção sucroalcooleira e a redução das perdas de P dos solos canavieiros por processos erosivos e seus impactos ambientais potenciais a longo prazo.

Interpretação da análise de fósforo no solo

Na Tabela 1, é apresentada a interpretação da análise de P para solos do Cerrado pelos métodos Mehlich⁻¹ e resina trocadora de íons para amostras tomadas na camada superficial de 0 cm a 20 cm (Sousa et al., 2004). A tabela foi elaborada a partir de resultados da experimentação de campo com culturas anuais, principalmente soja, e pode ser aplicada com alguma margem de segurança para a cana-de-açúcar cuja exigência em teores ótimos de P no

solo parece ser ainda um pouco inferior ao preconizado nas tabelas de interpretação da análise de P no solo (Soltangheisi et al., 2019a, 2019b).

Na Tabela 1, teores no solo que propiciam produtividade potencial (determinada principalmente pelo ambiente edafoclimático) acima de 80% sem aplicação de fertilizante fosfatado são classificados como “adequada” disponibilidade de P. Esse teor é $\geq 15 \text{ mg/dm}^3$ pelo método da resina, independentemente da textura do solo. Já para o método Mehlich⁻¹, a interpretação deve considerar a textura, classificando como “adequados” os teores de P $>4 \text{ mg/dm}^3$ para solos de textura muito argilosa ($>60\%$ de argila); $>8 \text{ mg/dm}^3$ para solos de textura argilosa (36% a 60% de argila); $>15 \text{ mg/dm}^3$ para solos de textura média (16% a 35% de argila); e $>18 \text{ mg/dm}^3$ para solos de textura arenosa ($\leq 15\%$ de argila).

Tabela 1. Interpretação da análise de fósforo nos solos do Cerrado pelos métodos da resina trocadora de íons e Mehlich⁻¹ (H_2SO_4 0,0125 mol/L + HCl 0,05 mol/L) para culturas em sistemas de cultivo de sequeiro, com base em amostras de solo coletadas na camada de 0 cm a 20 cm.

Classe de disponibilidade de P	Produtividade potencial	P Resina	P Mehlich ¹ (em função do teor de argila)			
			≤15%	16% a 35%	36% a 60%	>60%
			-----mg P/dm ³ solo-----			
Muito baixa	0-40	0-5	0-6,0	0-5,0	0-3,0	0-2,0
Baixa	41-60	6-8	6,1-12,0	5,1-10,0	3,1-5,0	2,1-3,0
Média	61-80	9-14	12,1-18,0	10,1-15,0	5,1-8,0	3,1-4,0
Adequada	81-90	15-20	18,1-25,0	15,1-20,0	8,1-12,0	4,1-6,0
Alta	91-100	21-35	25,1-40,0	20,1-35,0	12,1-18,0	6-1-9,0
Muito alta	100	>35	>40,0	>35,0	>18,0	>9,0

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2004).

Ganhos de produtividade com a adubação fosfatada corretiva

Na compilação de resultados de experimentos de adubação fosfatada de cana-de-açúcar realizados no País desde os anos 1980 até meados da década passada (Rein et al., 2015), ganhos médios de produtividade de colmos de 17 t/ha para a cana-planta e 13 t/ha/corte para a cana-soca foram verificados com a adubação corretiva em doses de 80 kg/ha a 300 kg/ha de P_2O_5 na forma de fertilizantes solúveis aplicados a lanço com incorporação, complementando doses de 100 kg/ha a 170 kg/ha de P_2O_5 aplicado no sulco de plantio.

Uma análise econômica simples mostra o retorno da adubação fosfatada corretiva, considerando-se R\$ 160,00/t o preço da cana “na esteira da usina” e os seguintes custos: R\$ 35,00/t o corte, transbordo e transporte (CTT); R\$ 80,00/ha o custo da aplicação do fertilizante a lanço; R\$ 180,00/ha o custo da incorporação com grade aradora. Ao custo de R\$ 6,00/kg de P_2O_5 para o fosfato monoamônico (MAP) ou o superfosfato triplo, esses valores permitem verificar que o investimento na aplicação de 100 kg/ha a 200 kg/ha de P_2O_5 na adubação corretiva seria pago com ganhos de produtividade de 7 t/ha a 12 t/ha de colmos, que comumente se obtém já para a cana-planta em solos com muito baixa ou baixa disponibilidade de P. Assim, os ganhos de produtividade nos cortes subsequentes, propiciados pelo longo efeito residual dessa adubação, se somam ao lucro da usina ou do fornecedor de cana. A adubação corretiva torna-se menos lucrativa nos momentos de preços muito elevados dos fertilizantes. Ao custo de R\$ 12,00/kg de P_2O_5 , ganhos de produtividade de 12 t/ha e 21 t/ha de colmos seriam necessários para amortizar os custos da aplicação de 100 kg/ha e 200 kg/ha de P_2O_5 , respectivamente.

Os ganhos de produtividade obtidos com a adubação fosfatada corretiva se devem ao maior aporte de P aos solos, complementando a adubação no sulco de plantio, mas também à alta eficiência de utilização pela cultura do fertilizante aplicado a lanço com incorporação em área total (item a seguir).

Respostas da cana-de-açúcar ao modo de aplicação de fósforo no plantio

A aplicação de doses elevadas de fertilizantes fosfatados no sulco de plantio é prática tradicionalmente adotada no setor sucroalcooleiro. Considerando o largo espaçamento da cultura (1,5 m entre linhas), essa adubação resulta em grande concentração localizada de P no solo no fundo do sulco.

Uma forma alternativa de utilização do fertilizante fosfatado no plantio é a sua aplicação exclusiva a lanço em área total com incorporação ao solo. Na compilação de resultados de experimentos de adubação fosfatada de cana-de-açúcar (Rein et al., 2015), foram comparados os dois modos de aplicação de P no plantio, exclusivamente no sulco ou a lanço com incorporação, na forma de superfosfatos ou termofosfato magnésiano fundido em pó, em doses de 100 kg/ha a 200 kg/ha de P_2O_5 . Na média de 12 experimentos realizados em diferentes regiões e condições de solo, a produtividade de colmos com aplicação do fertilizante exclusivamente a lanço foi de 109 t/ha e 81 t/ha por corte para a cana-planta e socas, respectivamente, sendo 10 t/ha e 8 t/ha superiores em relação às produtividades obtidas com a adubação no sulco de plantio nas mesmas doses. Em nenhum caso, a produtividade obtida com a adubação no sulco foi estatisticamente superior em relação à adubação a lanço.

Em nove desses experimentos, também foram avaliados tratamentos com metade da dose aplicada a lanço com incorporação e metade no sulco de plantio. As produtividades médias da cana-planta e socas foram, respectivamente, 112 t/ha e 85 t/ha por corte para a aplicação a lanço e 112 t/ha e 82 t/ha por corte para o tratamento com metade da dose a lanço e metade no sulco. Em nenhum experimento, a produtividade obtida com metade da dose a lanço e metade no sulco foi estatisticamente diferente em relação à mesma dose aplicada exclusivamente a lanço.

Portanto, conclui-se que a adubação fosfatada de plantio realizada a lanço com incorporação ou parte a lanço e parte no sulco (estratégia da adubação fosfatada corretiva) são melhores alternativas para essa cultura em relação à adubação exclusiva no sulco de plantio, principalmente no caso de solos com baixa disponibilidade de P cujas doses requeridas são altas. Embora a adubação no sulco propicie alta concentração de P na zona de aplicação, este é

acessível apenas a uma pequena fração do sistema radicular da cultura, devido à baixa mobilidade desse nutriente no solo e à pequena redistribuição e reciclagem ao longo dos cortes em função dos baixos teores de P no palhiço.

Por outro lado, geralmente a adubação no sulco propicia distribuição mais homogênea dos fertilizantes em relação às adubações a lanço com os equipamentos que predominam nas unidades de produção. Essa adubação concentrada no fundo do sulco pode ainda favorecer o desenvolvimento inicial da cultura, principalmente em solos com baixa disponibilidade de P, considerando-se que o sistema radicular das plantas jovens explora um menor volume de solo.

Ganhos de produtividade com a adubação fosfatada de soqueira

A adubação fosfatada de soqueira, embora recomendada sempre para solos com disponibilidade de P inferior à “adequada” (Tabela 1) (Spironello et al., 1996; Korndörfer et al., 1999; Sousa; Lobato, 2004; Vitti et al., 2015), era pouco adotada na região até recentemente. Em parte, isso se deve aos resultados controversos com relação às respostas da cultura a essa adubação, principalmente da experimentação realizada nas décadas de 1970 e 1980 (Penatti, 2013; Zambello Júnior; Azeredo, 1983).

Na compilação de resultados experimentais de adubação fosfatada da cana-soca (Rein et al., 2015), foram avaliados 18 experimentos realizados em diferentes regiões, condições de solos, adubação fosfatada de plantio, com cana queimada e crua, com ou sem incorporação em linha de fertilizantes fosfatados solúveis em água. Ganhos de produtividade superiores a 10 t/ha por corte foram verificados em sete experimentos em solos com muito baixa a média disponibilidade de P, e aplicação de doses anuais iguais ou superiores a 40 kg/ha de P_2O_5 . Os experimentos em que a adubação fosfatada foi realizada em socas alternadas, ou apenas na primeira, mostram ainda o efeito residual no aumento de produtividade das socas subsequentes.

Os aumentos de produtividade em resposta à adubação fosfatada da cana-soca foram verificados tanto para cana queimada quanto crua, com ou sem incorporação em linha do fertilizante ao solo. Resultados experimentais mais

recentes confirmam ganhos de produtividade de colmos superiores a 10 t/ha com aplicação anual de superfosfato sobre o palhicho próximo à linha da cultura (Zambrosi, 2020; Rein et al., 2021). Mesmo sendo o P muito pouco móvel no solo, a alta eficiência de uso pela cultura do fertilizante solúvel aplicado sobre o palhicho pode ser atribuída à alta densidade de raízes superficiais observadas na interface solo-palhicho, ainda possivelmente favorecida pelas melhores condições de umidade e temperatura em relação ao que se tinha com a cana queimada (Dourado Neto et al., 1999).

Adubação fosfatada e poluição das águas

Os impactos ambientais decorrentes da agricultura e de outras atividades humanas se dão, em geral, cumulativamente. Estabelece-se aí um compromisso entre gerações, em que as práticas empregadas no presente não podem comprometer a capacidade das gerações futuras em suprir suas necessidades de produção e qualidade de vida (Brundtland, 1987).

As atividades agropecuárias podem impactar severamente o funcionamento e a biodiversidade dos ecossistemas aquáticos. Isso se dá por meio da sua contaminação (excessivo enriquecimento) com sedimentos, pesticidas e seus metabólitos, nutrientes e outros contaminantes orgânicos e inorgânicos. Estes atingem os corpos d'água, o lençol freático e os aquíferos por processos erosivos, escoamento superficial e lixiviação.

No que se refere aos fertilizantes minerais e orgânicos, nitrogênio (N) e fósforo (P) são os nutrientes que apresentam maior potencial de impacto na qualidade das águas. Proveniente das atividades agropecuárias bem como do esgoto urbano (tratado ou não), o P é o principal responsável pelo fenômeno de eutrofização das águas e consequente proliferação de algas, com impactos diversos, incluindo o comprometimento da qualidade da água para o abastecimento urbano pela presença de toxinas, também geradas no processo de cloração dessas águas (Daniel et al., 1998; Barreto et al., 2013).

Esses problemas ocorrem principalmente em países ou regiões com longo histórico de utilização de fertilizantes minerais e dejetos animais em solos agrícolas e pastagens. No Brasil, é também motivo de preocupação principalmente na região sul, com agricultura intensiva já antiga e, principalmente, expressiva produção animal em confinamento com grande geração de deje-

tos (Oliveira et al., 2010; Dall'Orsoletta et al., 2021). Sendo o P fortemente retido às partículas de argila do solo, é carregado para os cursos d'água principalmente por erosão na forma particulada, mas também na forma solúvel na enxurrada, mais significativa em solos com altos teores de P disponível na camada superficial do solo.

Políticas públicas têm sido adotadas em alguns países para reverter esse quadro, com sistemas de tomada de decisões na adubação baseados em modelos de avaliação do risco de contaminação das águas por P nas formas dissolvida e particulada (Oliveira et al., 2010; Kleinman et al., 2011; Czymmek et al., 2021). Determina-se a redução ou a suspensão das adubações em situações que representem alto risco de contaminação, basicamente, altos teores de P no solo, proximidade de cursos d'água, aplicações superficiais de fertilizantes minerais e orgânicos e condições do solo, do relevo, das chuvas e do manejo que determinam maiores perdas de solo e água nos processos erosivos.

Assim, práticas de controle da erosão e da enxurrada, fazendo com que os sedimentos e a água permaneçam no talhão agrícola ou que a enxurrada não atinja os corpos d'água, são a primeira medida para minimizar esses impactos. Outra importante medida é o uso judicioso dos fertilizantes fosfatados minerais e orgânicos, conforme as recomendações com base na análise do solo (itens a seguir). A incorporação dos fertilizantes minerais e orgânicos ao solo por meio do seu preparo (associado a práticas eficazes de conservação do solo e da água) ou as aplicações localizadas enterradas podem ser necessárias em condições de alto risco de contaminação das águas.

Recomendações de adubação fosfatada para a cana-de-açúcar no sistema tradicional de cultivo no Cerrado

As compilações de resultados experimentais mencionadas anteriormente mostram, para solos com disponibilidade de P inferior à “adequada”: (a) aumento de produtividade com a adubação corretiva complementando a adubação fosfatada de plantio; (b) elevada eficiência da adubação fosfatada a lanço com incorporação no plantio, superior ou equivalente em relação à adubação no sulco; (c) uso eficiente pela cultura do fertilizante fosfatado solúvel aplicado na cana-soca, com ou sem sua incorporação ao solo. As recomendações a seguir exploram a combi-

nação dessas diferentes estratégias de adubação, buscando-se produtividade e manutenção ou elevação da disponibilidade de P do solo.

Nessas recomendações, é considerado o potencial produtivo, determinado principalmente pelo ambiente edafoclimático, época de corte, variedade e outros aspectos do manejo do solo e da cultura. A tendência é de maior resposta à adubação fosfatada em situações que determinam alta produtividade. Considerou-se também a exportação de P nos colmos, que varia de aproximadamente 15 kg a 30 kg de P_2O_5 para 100 t de colmos (Rossetto et al., 2008), em função principalmente da disponibilidade de P do solo e da adubação fosfatada. Mais comumente, esse valor está ao redor de 25 kg de P_2O_5 por 100 t de colmos. Assim, é exportado do talhão ao redor de 120 kg/ha de P_2O_5 para produtividades de 450 t/ha a 500 t/ha de colmos ao longo de um ciclo de cinco cortes. A quantidade de P na palha (folhas, bainhas e ponteiros), que, em geral, soma menos de 20 kg/ha de P_2O_5 para canas produzindo 100 t/ha de colmos, é reciclada com a mineralização (decomposição) do palhicho.

A adubação fosfatada, normalmente, não afeta significativamente a qualidade tecnológica da cana com relação aos teores de açúcares (açúcar total recuperável — ATR). Assim, o ganho de produtividade em ATR em resposta a essa adubação é determinado pelo aumento na produtividade de colmos. Por sua vez, o teor de P no caldo, também um fator de qualidade da matéria-prima (Korndörfer, 2004), é positivamente influenciado pela disponibilidade de P do solo e pela adubação fosfatada, requerendo-se menores complementações com ácido fosfórico (grau alimento) na indústria durante o processo de clarificação do caldo para produção de açúcar.

Recomendação de adubação fosfatada corretiva

A adubação fosfatada corretiva, conforme recomendada para as culturas no Cerrado (Sousa et al., 2004, 2016a, 2016b), visa elevar a disponibilidade de P do solo para a classe “adequada” (Tabela 1), em que, já se atinge aproximadamente 80% do potencial produtivo no ano sem outra complementação de fertilizante fosfatado. É realizada a lanço em área total, com incorporação até a profundidade de aproximadamente 20 cm com diferentes implementos.

A dose do fertilizante fosfatado para se atingir os teores desejados de P no solo pode ser estimada a partir da “capacidade tampão de fósforo do solo”

(CTP) para os métodos da resina e Mehlich⁻¹ (Tabela 2). A CTP, que aumenta com o teor de argila do solo, corresponde à dose de P_2O_5 necessária para se elevar em 1 mg/dm³ o teor de P na camada amostrada e de incorporação do adubo, de 0 cm a 20 cm. Na Tabela 2, são apresentados os seus valores bem como os teores desejado de P nos solos do Cerrado divididos em classes de teores de argila com intervalos de 10%. Conhecendo-se o teor atual de P do solo, a dose de P_2O_5 na adubação corretiva é calculada a partir da seguinte equação:

$$P_2O_5 \text{ (kg/ha)} = [\text{teor desejado de P} - \text{teor atual}] \times CTP$$

Na Figura 1, está exemplificado o uso dessa equação no cálculo da dose de P_2O_5 necessária para elevar ao nível adequado o teor de P pelos métodos da resina e Mehlich⁻¹ em solos hipotéticos com diferentes teores de argila e de P. As doses recomendadas diminuem com o aumento nos teores atuais de P no solo e variam de aproximadamente 100 kg/ha a 280 kg/ha de P_2O_5 para solos arenosos a muito argilosos com muito baixa (0 mg/dm³) disponibilidade de P.

Tabela 2. Capacidade tampão de fósforo (CTP) e teores desejados pelos métodos da Resina e Mehlich⁻¹ em solos com diferentes teores de argila para cálculo da dose do fertilizante na adubação fosfatada corretiva.

Argila %	Teor desejado de P no solo ⁽¹⁾		Capacidade tampão de P do solo (CTP) ⁽²⁾	
	Resina	Mehlich	Resina	Mehlich
	---mg P/dm ³ solo---		[kg/ha P_2O_5] / [mg/dm ³ P solo]	
11–20	15	19,0	6,5	5,5
21–30	15	16,0	8,5	8,0
31–40	15	13,5	11,0	13,0
41–50	15	10,5	13,5	20,5
51–60	15	7,5	15,5	33,0
61–70	15	4,5	18,0	62,0

⁽¹⁾ Teores requeridos de P no solo para produtividade potencial de 80% (para produtividade potencial de 90%, multiplicar esses valores por 1,4).

⁽²⁾ Dose requerida de P_2O_5 (kg/ha) para elevar em 1 mg/dm³ os teores de P avaliados pelos métodos da Resina e Mehlich⁻¹ em solos amostrados e adubados na camada de 0 cm a 20 cm.

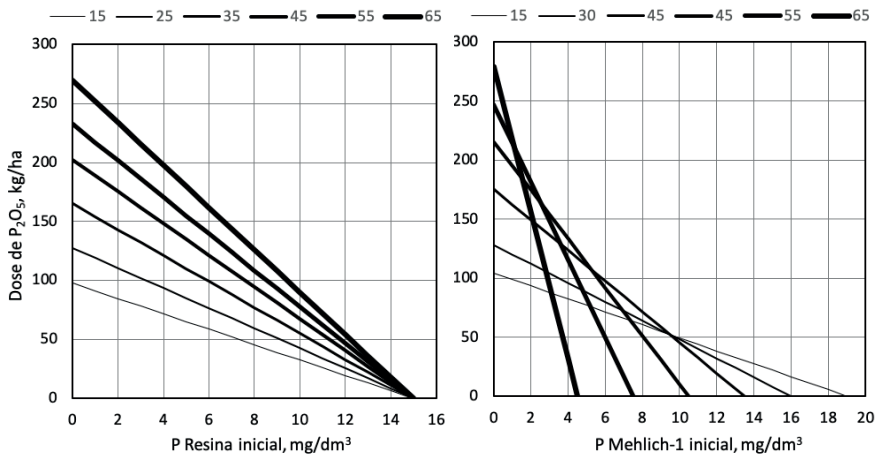


Figura 1. Doses requeridas de P₂O₅ na adubação corretiva para elevar ao teor desejado o fósforo na camada de 0 cm a 20 cm em seis solos hipotéticos com teores de argila variando de 15% a 65% e teores iniciais crescentes de fósforo avaliados pelos métodos da Resina e Mehlich⁻¹.

Na adubação corretiva com base no teor atual de P avaliado pelo método da resina, a dose de P₂O₅ pode ser convenientemente calculada em planilha eletrônica automatizada para teores individuais de argila ao invés de classes de teores com intervalos de 10% (Tabela 2), conforme a equação a seguir adaptada de Sousa et al. (2016a, b):

$$P_2O_5 \text{ (kg/ha)} = [\text{teor desejado de P resina} - \text{teor atual}] \times [[2,8 + (0,23 \times \text{argila}\%)]$$

Em que: o segundo termo da equação corresponde ao valor da CTP para o método da resina estimado para solos com teores de argila no intervalo de 10% a 70%.

A adubação fosfatada corretiva é comumente realizada em sequência à calagem na reforma ou expansão do canavial, podendo ambos os insumos serem incorporados ao solo conjuntamente. Nas condições de acidez dos solos cultivados no Cerrado, não há evidências de que essa incorporação conjunta traga prejuízo à eficiência agrônômica dos fertilizantes solúveis em água (superfosfatos e fosfatos de amônio). Reações de “retrogradação” do P solúvel aplicado para fosfatos de cálcio de baixa solubilidade ocorrem significativamente apenas em solos calcários ou alcalinos.

Quando realizada antecipadamente, essa adubação beneficia também a produtividade das culturas/adubos verdes cultivados em rotação com a

cana-de-açúcar, propiciando ainda maior aporte ao solo de restos culturais, podendo também favorecer a cana. Em canaviais já estabelecidos em solos com baixa disponibilidade de P, a adubação corretiva pode ser realizada em aplicação superficial sobre o palhiço em área total (Moberly; Wood, 1970), em faixas sobre as linhas da cultura ou com o fertilizante incorporado em linhas espaçadas em aproximadamente 0,5 m.

Recomendação de adubação fosfatada de plantio

Na Tabela 3, é apresentada a recomendação de adubação fosfatada no sulco de plantio, conforme a classe de disponibilidade inicial de P no solo avaliada por ocasião da reforma/expansão e expectativa de produtividade da cana-planta. Essas doses são próximas de outras recomendações da região Centro-Sul para classes equivalentes de disponibilidade de P no solo (Korndörfer et al., 1999; Sousa; Lobato, 2004; Spironello et al., 1996). Para solos com disponibilidade inicial de P (antes da adubação fosfatada corretiva) “muito baixa”, “baixa” e “média” (Tabela 1), a dose recomendada no sulco de plantio (Tabela 3) é a mesma em relação à indicada para a classe “adequada”, complementando a adubação corretiva previamente realizada.

Tabela 3. Recomendação de adubação fosfatada no sulco de plantio.

Produtividade potencial (t/ha colmos)	Classe de disponibilidade de P no solo ⁽¹⁾		
	Adequada ⁽¹⁾	Alta	Muito alta
	----- P ₂ O ₅ , kg/ha -----		
≤100	100	80	40
101-130	120	100	60
131-160	140	120	80

⁽¹⁾ As mesmas doses de P₂O₅ indicadas para solo com disponibilidade “adequada” de P são recomendadas também para solos com disponibilidade inicial muito baixa, baixa e média (Tabela 1), complementando a necessária adubação fosfatada corretiva previamente realizada (Figura 1).

Alternativamente, como a eficiência de utilização pela cana do fertilizante fosfatado aplicado a lanço com incorporação se mostrou geralmente superior ou pelo menos equivalente em relação à aplicação no sulco de plantio (item *Respostas da cana-de-açúcar ao modo de aplicação de fósforo no plantio*, nesta circular), a dose de P₂O₅ recomendada no plantio pode ser somada à

da adubação corretiva e o fertilizante integralmente aplicado a lanço e incorporado. A eventual necessidade dos outros nutrientes no sulco de plantio, particularmente o nitrogênio e o potássio em formulações NK, NPK ou na forma de fertilizantes simples (fosfato monoamônico — MAP), é outro aspecto a ser considerado no manejo da adubação de plantio.

Recomendação de adubação fosfatada de soqueira

Na Tabela 4, é apresentada a recomendação de doses de P_2O_5 para a cana-soca, conforme a produtividade potencial e a classe de disponibilidade de P no solo amostrado após o primeiro corte (cana-planta). Doses de 20 kg/ha a 40 kg/ha de P_2O_5 já eram recomendadas para a cana-soca na região Centro-Sul em solos cuja disponibilidade de P, interpretada conforme a Tabela 1, é $\leq$ “adequada” (Korndörfer, 1999; Sousa; Lobato, 2004; Spironello et al., 1996).

Tabela 4. Recomendação de adubação fosfatada de soqueira.

Produtividade potencial (t/ha colmos)	Classe de disponibilidade de P no solo			
	Média ⁽¹⁾	Adequada	Alta	M. alta
	----- P_2O_5 , kg/ha/corte -----			
≤ 70	40	20	0	0
71-100	40	20	20	0
101-130	60	40	20	0

⁽¹⁾ Apenas na primeira soca (ver texto). Nas socas subsequentes, assumir disponibilidade “adequada” de P.

O fertilizante fosfatado, puro ou em formulações NPK sólidas ou líquidas, pode ser aplicado superficialmente sobre o palhço nas linhas de cana e/ou nas suas laterais. A possibilidade de aplicação superficial a lanço em área total de fertilizantes fosfatados nas doses recomendadas da adubação de manutenção não foi ainda devidamente avaliada na cana-soca.

O fertilizante pode também ser incorporado em linha, o que se justifica principalmente no caso de formulações NPK ou NP sólidas com ureia, evitando as perdas de nitrogênio por volatilização na forma de amônia, e em áreas muito susceptíveis à erosão e próximas de cursos d’água, com alto risco de contaminação por P (ver item *Adubação fosfatada e poluição das águas*, nesta circular).

A adubação fosfatada de soqueira permite elevar ou manter os teores de P do solo nas classes “adequada” ou “alta” ao longo das socas, tornando desnecessária, em geral, nova adubação fosfatada corretiva por ocasião da próxima reforma do canavial.

Recomendações de adubação fosfatada para a cana-de-açúcar nos sistemas irrigados no Cerrado

Estima-se que o déficit hídrico seja responsável por redução média de 43% na produtividade potencial da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do País (Dias; Sentelhas, 2018). Resultados da recente pesquisa em irrigação da cana-de-açúcar no Cerrado (Batista, 2013; Sánchez-Román et al., 2015; Bufon et al., 2021) e relatos de produtores de cana irrigantes com manejos adequados mostram produtividades de colmos para as melhores variedades de até 250 t/ha para cana-planta de 14 a 18 meses e 200 t/ha para a cana-soca, obtidas em regimes hídricos pouco abaixo da irrigação plena, por aspersão ou gotejo subterrâneo. Produtividades ainda significativamente superiores em relação ao sistema de sequeiro ou apenas com irrigação de salvamento são obtidas nos sistemas de irrigação deficitária com pivô central que predominam na região, suprimindo ao redor de 30% a 60% do déficit hídrico da cultura. Além da maior produtividade e consequente maior demanda de nutrientes pela cultura, a agricultura irrigada propicia maior estabilidade na produção e segurança no retorno dos investimentos na atividade. Assim, esse sistema requer manejo apropriado da fertilidade do solo, com correção inicial e adubações de manutenção em níveis superiores em relação ao cultivo de sequeiro.

Assim como recomendado para culturas anuais no sistema irrigado no Cerrado (Sousa et al., 2004), no cálculo da adubação fosfatada corretiva, recomenda-se para a cana-de-açúcar elevar o teor de P no solo para a classe “alta” (Tabela 1). Esse nível corresponde aos teores de P no solo de 21 mg/dm³ pelo método da resina, e 25 mg/dm³, 20 mg/dm³, 12 mg/dm³ e 6 mg/dm³ pelo método Mehlich⁻¹ para solos de textura arenosa, média, argilosa e muito argilosa, respectivamente. O cálculo da dose na adubação corretiva segue a mesma tabela (Tabela 2) e fórmula apresentadas para o sistema de sequeiro, tendo-se agora um teor desejado superior.

Tendo sido efetuada a adubação fosfatada corretiva, a recomendação de doses na adubação no sulco de plantio é apresentada na Tabela 5. Considerações sobre a possibilidade de somar essas doses às da adubação corretiva, aplicando-se todo o fertilizante fosfatado a lanço com incorporação, são válidas também para a cana-de-açúcar irrigada.

Tabela 5. Recomendação de adubação fosfatada de plantio para a cana-de-açúcar irrigada.

Produtividade potencial (t/ha colmos)	Classe de disponibilidade de P no solo ⁽¹⁾	
	Alta ⁽¹⁾	Muito alta
	-----kg/ha P ₂ O ₅ -----	
<160	120	80
161-190	140	80
191-220	160	100
221-250	160	100

⁽¹⁾As mesmas doses de P₂O₅ indicadas para solos com disponibilidade alta de P são recomendadas também para solos com disponibilidade original muito baixa, baixa, média e adequada (Tabela 1), complementando a adubação fosfatada corretiva previamente realizada.

Na Tabela 6, está a recomendação de adubação fosfatada para a cana-soca irrigada, com base no potencial produtivo e no teor de P no solo em amostra tomada após à colheita da cana-planta. Com a adubação fosfatada corretiva previamente realizada, a expectativa é de que os teores de P no solo estejam nas classes “adequada” ou “alta”. Estando ainda na classe “adequada”, indicam-se as doses de 60 kg/ha a 80 kg/ha de P₂O₅ apenas para a primeira soca e, para as socas subsequentes, as mesmas doses recomendadas para a classe “alta” de disponibilidade (40 kg/ha a 60 kg/ha de P₂O₅) (Tabela 6).

Tabela 6. Recomendação de adubação fosfatada para a cana-soca irrigada.

Produtividade potencial (t/ha colmos)	Classe de disponibilidade de P no solo		
	Adequada ⁽¹⁾	Alta	Muito alta
	-----kg/ha/corte P ₂ O ₅ -----		
<130	60	40	0
131-160	80	60	0
160-190	80	60	0

⁽¹⁾Apenas na primeira soca (ver texto). Nas socas subsequentes, assumir disponibilidade “alta” de P.

Ao contrário do N, cuja adubação é comumente parcelada nos sistemas irrigados, o P é muito pouco móvel no perfil do solo e não susceptível a perdas por lixiviação, não havendo necessidade de parcelamento da adubação fosfatada. Assim, nos sistemas irrigados por aspersão (pivô central e outros) é suficiente uma única aplicação anual de P no início da rebrota, com a primeira parcela do N e do potássio (K), na forma sólida ou líquida, a lançar em área total, sobre as linhas da cultura ou enterrado nas suas laterais.

No sistema de fertirrigação por gotejo subterrâneo, é usual parcelar em várias aplicações as doses anuais dos fertilizantes, particularmente o N e o K, utilizados em doses mais elevadas em relação ao P e susceptíveis à lixiviação, principalmente no caso do N. Nessa circunstância, é conveniente a aplicação da dose anual de P nas primeiras duas ou três fertirrigações da cana-soca, sendo o MAP “purificado” ou o ácido fosfórico as fontes de preferência.

A aplicação dos nutrientes exclusivamente via fertirrigação no sistema de gotejo subterrâneo, no caso do P, leva a uma grande concentração no bulbo irrigado na zona bem próxima do emissor, localizado na profundidade de 25 cm a 35 cm. No caso do N, cuja fonte comumente utilizada é a ureia, pode haver excessiva acidificação na zona do emissor (Kafkafi; Tarchitzky, 2011), devido à reação de nitrificação (transformação microbiana do N amoniacal em nitrato no solo), comprometendo o desempenho das culturas. Isso já foi observado com a cana-de-açúcar em sistema irrigado por gotejo subterrâneo no Cerrado (Bufon, V. B., comunicação pessoal). Estima-se que 100 kg/ha de N na forma de ureia (ou nitrato de amônio) gere acidez que seria neutralizada com 180 kg/ha de calcário (PRNT 100%) (Raij, 2011). A profundidade em que ocorre essa acidificação é bem abaixo da que poderia ser corrigida com aplicações superficiais de calcário ou outros corretivos de acidez sobre o palhço.

A alternativa mais econômica para reduzir a acidificação na zona do emissor é a redução da dose de N (ureia) aplicada via gotejo, aplicando-se parte dos fertilizantes sobre o solo. Considera-se que a cultura irrigada, de alta produtividade, utiliza eficientemente o N e o K, além do P, aplicados superficialmente sobre o palhço, assim como ocorre nas adubações a lançar ou fertirrigação por aspersão. Assim, no sistema de cultivo irrigado por gotejo subterrâneo, indica-se aplicar metade das doses anuais de N, P e K em uma única adubação na forma de fertilizantes sólidos (ou líquidos), preferencialmente a lançar em área total ou ainda sobre as linhas de cana. O momento dessa adubação,

que sucede fertirrigações via gotejo realizadas no início da rebrota, é aquele com a cultura em pleno desenvolvimento, mas que ainda permite a entrada de implementos.

Recomendações de adubação fosfatada para a cana-de-açúcar em plantio direto

É uma tendência no setor sucroalcooleiro a adoção de sistemas conservacionistas de preparo do solo, com menor ou nenhuma mobilização do solo na reforma do canavial além da destruição mecânica da soqueira em áreas com alta infestação de *Sphenophorus levis* e da operação de sulcação para o plantio. O plantio direto de cana, em sequência à colheita de soja e outras culturas também estabelecidas em plantio direto no palhço, propicia grande redução nas perdas de solo por erosão na reforma, que é o período mais crítico da cultura com o manejo convencional do solo (De Maria et al., 2016). Pode-se também esperar redução no potencial de contaminação por P dos cursos d'água. O plantio direto propicia significativa economia em máquinas e combustível, com impactos nas emissões de CO₂ da produção canaveira e consequentemente na obtenção de créditos de descarbonização (CBIOS) no Programa RenovaBio (Matsuura et al., 2018).

A experimentação em preparo do solo na reforma dos canaviais tem mostrado, geralmente, produtividades semelhantes com o plantio direto em relação aos sistemas com preparo do solo que utilizam arados ou grades (Barbosa et al., 2016, 2019; Sá et al., 2022). Em poucos casos, as produtividades são menores ou maiores com o plantio direto.

No plantio direto, não há a possibilidade de incorporação em área total do fertilizante na adubação fosfatada corretiva. Contudo, não é um impedimento à sua realização. Resultados de um experimento realizado em Goianésia, GO, em área de expansão com muito baixa disponibilidade de P e solo altamente responsivo à adubação fosfatada, mostraram produtividades semelhantes para a cana-planta e socas com superfosfato aplicado a lanço em área total sem incorporação, em linhas espaçadas em 50 cm na profundidade de aproximadamente 5 cm e no fundo do sulco de plantio (Santos Júnior, J. de D. G. dos, dados não publicados). Em outro experimento em andamento, em Brasília, DF, também em solo com muito baixa disponibilidade de P, produtivi-

dades semelhantes em dois cortes foram obtidas com superfosfato na adubação corretiva aplicado a lanço e incorporado com grade aradora e o mesmo aplicado a lanço sobre o solo preparado, mas sem incorporação (Rein, T. A., dados não publicados).

Esses resultados confirmam a eficiente utilização pela cultura do P de fontes solúveis em água aplicadas superficialmente sem incorporação, também verificada na adubação fosfatada da cana-soca, e permitem inferir ser viável a realização da adubação corretiva em sistemas conservacionistas de manejo do solo que recorrem a escarificadores ou subsoladores em substituição aos arados e grades, com os primeiros propiciando incorporação parcial dos fertilizantes ao solo. Assim, no sistema plantio direto de cana-de-açúcar, havendo necessidade de adubação fosfatada corretiva na reforma ou expansão do canavial, esta pode ser realizada a lanço em área total ou incorporada em linhas espaçadas em aproximadamente 50 cm. As doses recomendadas são as mesmas indicadas para o sistema tradicional com preparo do solo.

Especial atenção deve-se dar aos aspectos de conservação do solo e da água com relação ao manejo da adubação fosfatada no plantio direto, para evitar ou minimizar a contaminação por P dos cursos de água (item “Adubação fosfatada e poluição das águas”). Em condições de solo e topografia favoráveis ao transporte de P por erosão ou escoamento superficial para os cursos de água, a incorporação em linha do fertilizante fosfatado na adubação corretiva e na adubação de soqueira (ao lado das linhas de cana), além da adubação no fundo do sulco no plantio, são as formas recomendadas de aplicação dos fertilizantes fosfatados no sistema plantio direto.

Amostragem do solo para diagnose da disponibilidade de fósforo

As presentes recomendações de adubação fosfatada corretiva, de plantio e de soqueira são baseadas na análise de P no solo amostrado na camada de 0 cm a 20 cm de profundidade. A amostragem do solo é a etapa mais crítica do processo de diagnose da sua fertilidade por meio da análise química (Cantarutti et al., 2007). Isso se deve à variabilidade espacial dos solos agrícolas, que ocorre em diferentes escalas, tornando necessário número apropriado de subamostras (amostras simples) para compor a amostra

composta, caracterizando-se com exatidão desejável um talhão razoavelmente homogêneo, zona de manejo ou uma pequena quadrícula. No caso do P e demais nutrientes, aceita-se erro de $\pm 20\%$ em relação ao teor médio obtido com grande (impraticável) número de subamostras (Anghinoni, 2007; Raij, 2011).

Entre os atributos da fertilidade do solo, o P é o que apresenta, em geral, maior variabilidade nos solos canavieiros (Souza et al., 2006; Sanchez et al., 2012; Cardoso et al., 2014). A principal fonte de variabilidade ocorre na escala linha-entrelinha, sendo causada pelas adubações localizadas no sulco de plantio, em linhas ou faixas na soqueira, bem como pela adubação a lanço. É baixa a mobilidade do P no solo e sua redistribuição na mineralização do palhço cujos teores de P são baixos. O sistema radicular da planta explora efetivamente os nutrientes presentes na linha e na entrelinha, integrando grande área e volume de solo. Explora também a camada abaixo de 20 cm, em que se localiza o P aplicado no fundo do sulco de plantio bem como os veios residuais das adubações no sulco dos ciclos anteriores.

Diferentes tipos de trados (holandês, calador, rosca, caneco, fatiador) e broca motorizada (manual ou montada em quadriciclo) podem ser utilizados na amostragem, desde que as condições de umidade e textura do solo propiciem adequada tomada da amostra de toda a camada de 0 cm a 20 cm (Sanzonowicz, 2004). Sugere-se a realização de duas amostragens ao longo de um ciclo de quatro a seis cortes: (a) após a última ou penúltima soca, para orientar as correções e adubações a serem realizadas na reforma; (b) após o corte da cana-planta, para checagens das correções realizadas na reforma e tomada de decisões na adubação das três a cinco socas subsequentes.

Em ambas as amostragens, indica-se coletar ao redor de 25 subamostras em um talhão homogêneo (mesma unidade pedológica e histórico de uso) ou “zona de manejo”, com a utilização de trados ou brocas. O caminhamento em diagonal em relação às linhas de cana na área amostrada agiliza a amostragem, que deve integrar todo o intervalo linha-entrelinha. Assim, coleta-se o mesmo número de subamostras nas posições ao redor de 0 cm, 25 cm, 50 cm e 75 cm a partir da linha da cultura (no caso do espaçamento de 1,5 m entre linhas), tomando-se ao redor de seis subamostras em cada posição, totalizando 24 subamostras.

No caso de amostragens em malha regular para produção de mapas de fertilidade e de prescrição de corretivos e fertilizantes para aplicação em taxa variável, adotada em muitas usinas, as subamostras são em geral coletadas na região central das quadrículas. Em um raio ao redor de 5 m até 10 m do ponto central, indica-se coletar pelo menos 15 subamostras, considerando-se que a variabilidade do P (e de outros nutrientes) é pouco dependente do tamanho da área amostrada (Cantarutti et al., 2007). Tem-se observado que o número de subamostras tomadas nas amostragens em malha nas unidades produtoras é, em geral, inferior a esse número indicado, contribuindo para a baixa acurácia dos mapas produzidos. Outro problema na amostragem em malha refere-se à baixa densidade amostral, sendo as malhas de 4 ha a 5 ha por amostra, comumente adotadas nas usinas, consideradas insuficientes para o mapeamento da variabilidade espacial e prescrição de fertilizantes em taxa variável (Molin et al., 2015; Baio et al., 2018). Nesse sentido, alternativa promissora contemplando a variabilidade de solos na escala dos talhões canavieiros, mas que precisa ser ainda melhor desenvolvida, é a amostragem e o manejo da fertilidade com base em “zonas de manejo” ou “unidades de gestão diferenciada”.

O registro organizado dos resultados analíticos é fundamental para se avaliar a consistência dos resultados do ano em relação aos das amostragens anteriores e do histórico de aplicações de corretivos e fertilizantes, trazendo maior segurança à sua interpretação e recomendações de adubação. Deve ser selecionado um laboratório acreditado por um dos programas de proficiência de análise de solo contemplando a região do Cerrado (IAC — Ensaio de Proficiência IAC para Laboratórios de Análise de Solo para Fins Agrícolas; PROFERT — Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo do Estado de Minas Gerais; PAQLF – Programa de Análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade), com selo de qualidade do ano referente ao seu desempenho no ano anterior. É desejável que o laboratório tenha também a certificação ISO 17025 de qualidade das operações laboratoriais.

Essas recomendações de amostragem para avaliação da disponibilidade de P permitem adequada diagnose dos demais atributos da fertilidade do solo, embasando as recomendações de correção da acidez superficial e subsuperficial com calcário e gesso e as adubações com potássio, enxofre e micronutrientes. No caso da amostragem para a reforma do canavial, esta deve ser

complementada por amostras de camadas mais profundas (20 cm a 40 cm e até 60 cm a 80 cm) para diagnose principalmente da acidez subsuperficial, mas inclusive da disponibilidade de enxofre na forma de sulfato e estoques de potássio. Sugere-se a tomada de 12 subamostras para a caracterização da acidez subsuperficial.

Mudanças nas práticas de adubação, com maior participação de adubações a lanço em relação ao sulco de plantio e na linha na cana-soca, reduzindo a variabilidade na escala linha-entrelinha, contribuiriam para a melhor qualidade da amostragem dos solos canavieiros e tomada de decisão nas adubações.

Diagnose foliar

A diagnose foliar é utilizada na avaliação do estado nutricional da cultura e pode complementar a análise do solo na tomada de decisões com relação ao manejo nutricional da cultura, principalmente com relação às socas subsequentes à amostragem de folhas. A folha amostrada é a primeira com a lígula (colarinho) visível, que normalmente corresponde à terceira folha expandida no sentido do ponteiro para baixo. Amostra-se pelo menos 25 folhas de um talhão ou zona razoavelmente homogênea para compor a amostra, coletando-se apenas o terço central da folha e eliminando-se a nervura central. A amostragem deve ser realizada na fase de pleno desenvolvimento da cultura, por volta de janeiro nas condições da região Centro-Sul.

As amostras devem ser imediatamente levadas ao laboratório, mantidas sob refrigeração em sacos plásticos por poucos dias ou previamente secas ao ar. Cuidados devem ser tomados para se evitar fontes de contaminação das amostras. Canas bem nutridas apresentam teores de P na folha acima de 1,5 g/kg (Raij et al., 1996), enquanto aquelas muito deficientes em P apresentam teores ao redor de 1,0 g/kg. Contudo, a análise foliar baseada em um “nível crítico” ou “faixa de suficiência” é, em geral, pouco sensível para detectar com segurança a deficiência moderada de P, situação mais comum nos canaviais.

Sistemas mais complexos de diagnose foliar como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e outros têm sido estudados para a ca-

na-de-açúcar e outras culturas no Brasil. Baseiam-se em índices (normas) indicando a deficiência ou o excesso de cada nutriente calculados a partir de relações entre os teores dos nutrientes em uma população de amostras de folha de canaviais de alta produtividade. Contudo, como as normas geradas para a maioria das culturas praticamente não foram ainda validadas quanto à acurácia no acerto da diagnose das deficiências nutricionais (Prado et al., 2016), não podem ainda ser recomendadas com segurança na diagnose do estado nutricional para tomada de decisões na adubação da cana-de-açúcar.

Fontes alternativas de fósforo na adubação da cana-de-açúcar

As recomendações apresentadas referem-se à utilização de fertilizantes fosfatados solúveis em água, caso dos superfosfatos e fosfatos de amônio, e às formulações líquidas incluindo vinhaças enriquecidas, à base de fosfato monoamônico (MAP) e de ácido fosfórico. São fertilizantes com P prontamente disponível às plantas, reconhecida eficiência agrônômica inicial e efeito residual. Critérios para utilização de outras fontes de P na cultura da cana-de-açúcar são apresentados a seguir.

Termofosfatos e produtos à base de fosfato bicálcico

Fertilizantes com muito baixa solubilidade em água, mas alta solubilidade em ácido cítrico e/ou citrato neutro de amônio reagem rapidamente no solo quando utilizados na forma de pó, apresentando eficiência agrônômica comparável a dos fertilizantes solúveis em água. Esse é o caso dos termofosfatos e de produtos na forma de fosfato bicálcico, como os fosfatos decantados, subprodutos da indústria de ácido fósfórico, em granulometria farelada fina. Podem ser utilizados tanto na adubação corretiva como no sulco de plantio, com base na solubilidade em ácido cítrico ou citrato neutro de amônio. Esses produtos de baixa solubilidade em água não foram ainda avaliados na adubação da cana-soca, aplicados superficialmente sobre o palhiço sem incorporação, mas a expectativa é de menor eficiência inicial. Não é recomendada a utilização de fosfatos de baixa solubilidade em água na forma granulada, cuja

eficiência agrônômica é significativamente reduzida em relação aos respectivos produtos na forma de pó ou farelado fino (Sousa et al., 2004).

Resíduos da indústria sucroalcooleira e outras fontes orgânicas

A ampla utilização agrícola da torta de filtro e cinzas/fuligem das caldeiras (nas formas frescas ou em misturas compostadas) e da vinhaça in natura ou concentrada permite eficiente reciclagem de nutrientes e grande economia de fertilizantes na usina, oportunidade não existente na produção da maioria das culturas. No caso do P, praticamente toda a quantidade exportada nos colmos colhidos é recuperada nesses resíduos. A torta de filtro e as cinzas/fuligem apresentam teores de P_2O_5 na matéria seca ao redor de 0,5% a 2,5% e 0,5% a 1%, respectivamente, enquanto a vinhaça in natura apresenta teores ainda mais variáveis, em geral, inferiores a 0,2 kg/m³ (Mattiazzo-Prezotto; Glória, 1990; Rossetto et al., 2010; Vitti et al., 2015). Os teores na torta ou na vinhaça variam em função do sistema de extração do caldo, destinação da cana (açúcar ou etanol) e tipo de mosto na fermentação, além da matéria-prima (composição química do caldo) e da presença de terra como impureza nos colmos colhidos. Portanto, a utilização racional desses resíduos como fertilizantes requer o monitoramento dos lotes produzidos na usina com relação aos teores de P e demais nutrientes.

Cinzas/fuligem e tortas mais ricas em P, estas originárias da produção de açúcar, têm comumente a maior parte do P na forma mineral solúvel em ácido cítrico 2% (Mattiazzo-Prezotto; Glória, 1990; Glória et al., 1993), com reconhecida eficiência agrônômica no suprimento de P e outros nutrientes às plantas, e outros benefícios advindos do aporte de matéria orgânica (Korndörfer, 2004; Korndörfer; Anderson, 2007; Rossetto et al., 2010). Com base nesses estudos, resultados de experimentos em andamento e recomendações de uso de fertilizantes orgânicos em geral (Raij et al., 1996; Comissão de Química..., 2016), pode-se considerar como pelo menos 80% a eficiência relativa da torta de filtro como fonte de P para a cana-de-açúcar em relação aos fertilizantes minerais solúveis em água (superfosfatos e fosfatos de amônio), já no ano da aplicação, no sulco de plantio ou a lanço com incorporação na adubação corretiva.

Na cana-soca, a aplicação superficial localizada sobre as linhas da cultura da torta de filtro mostrou-se tão eficiente na utilização do P e outros nutrientes pela cana-de-açúcar quanto sua aplicação incorporada nas entrelinhas (Fravet et al., 2010). Cinzas provenientes da queima da palha de cana na cogeração de energia elétrica, atividade em expansão nas usinas, apresentam maiores teores de P e outros nutrientes em relação às cinzas de bagaço, o que deve ser considerado na sua utilização como fertilizante. Contudo, cinzas e fuligens da indústria sucroalcooleira não foram ainda avaliadas isoladamente como fontes de P para a cana-de-açúcar em experimentos de campo.

Cama de frango, esterco de poedeiras, esterco bovino, dejetos suíno e lodo de esgoto, os primeiros já amplamente utilizados na cana-de-açúcar, apresentam teores variáveis de P_2O_5 total no material seco, respectivamente ao redor de 3%, 4%, 1,5%, 2 kg/m³ (dejetos suíno com 3% de matéria seca) e 3% (Comissão de Química..., 2016; Raij et al., 1996). Parte do P desses resíduos orgânicos está na forma inorgânica. Estercos/dejetos de animais alimentados à base de rações concentradas apresentam maiores teores e disponibilidade inicial de P para as plantas. De maneira geral, considera-se que 70% a 90% do P desses resíduos orgânicos é disponibilizado já no ano da aplicação, o que deve ser considerado no cálculo das adubações, substituindo ou complementando os fertilizantes minerais.

O enriquecimento da torta de filtro e cinzas com corretivos, estercos e fertilizantes minerais em leiras de compostagem na usina permite suprir, por meio de uma única adubação anual, o requerimento nutricional da cana-planta e socas. Quando enriquecidas com fertilizantes solúveis, perdas de nutrientes por lixiviação nas leiras de compostagem podem ser evitadas realizando-se o enriquecimento e a completa homogeneização das leiras em data próxima à aplicação na lavoura, quando na estação chuvosa. Não é indicado o enriquecimento com fosfatos naturais (item a seguir), pois as condições de elevado pH e teores de cálcio e P da torta de filtro (Prado et al., 2013) não são favoráveis à sua dissolução e utilização pela planta, principalmente quando o composto é aplicado localizadamente no sulco de plantio.

Fosfatos naturais reativos

Fosfatos naturais reativos na forma farelada, cuja solubilidade mínima é de 30% em ácido cítrico 2% (relação fosfato:solução extratora 1:100), são utilizados para a cana-de-açúcar e outras culturas. Sendo insolúveis em água, tornam-se disponíveis às plantas após reação com o solo, que propicia sua dissolução. Ao serem avaliados para a cana-de-açúcar em solos responsivos ao P, aplicados com base no teor de P_2O_5 total a lanço com incorporação ou no sulco de plantio (Cantarella et al., 2002; Rossetto et al., 2002; Tomaz, 2010; Caione et al., 2013; Rein; Sousa, 2013; Pinoti; Maransato, 2014; Sousa et al., 2015; Rein et al. 2021), sua eficiência relativa foi, em algumas situações, equivalente às fontes solúveis já para a cana-planta. Em outras situações, sua eficiência foi inferior, principalmente quando aplicados no sulco de plantio. Esses fosfatos não foram ainda avaliados em aplicação superficial sobre o palhço ou incorporados em linha na cana-soca, mas a expectativa é de baixa eficiência inicial.

Com base nesses resultados bem como no conhecimento acumulado sobre a eficiência inicial e efeito residual dos fosfatos naturais reativos para culturas diversas no Cerrado (Sousa et al., 2004, 2010, 2014, 2016a), recomenda-se sua utilização para a cana-de-açúcar apenas em aplicações a lanço com incorporação e em solos com pH em água $\leq 6,0$ (pH em $CaCl_2$ $0,01 \text{ mol/L} \leq 5,2$). Entre os fosfatos naturais reativos, maior eficiência agrônômica para a cana-planta é esperada para aqueles com maior solubilidade em ácido cítrico (Sousa et al., 2014). Considerando a incerteza associada à eficiência agrônômica desses fosfatos reativos, principalmente para a cana-planta, sua utilização pode tornar-se viável apenas quando o custo por unidade de P_2O_5 total for substancialmente inferior em relação ao dos fertilizantes solúveis em água.

Fosfatos naturais brasileiros com solubilidades em ácido cítrico inferiores a 30% em relação ao P_2O_5 total, não sendo enquadrados na categoria de fosfatos reativos, não são recomendados para utilização na cultura da cana-de-açúcar.

Um aspecto importante relacionado à utilização dos fosfatos naturais na agricultura é a dissolução parcial que ocorre durante o processo de análise química do solo em laboratório para avaliação da disponibilidade de P.

Isso é bem conhecido para o extrator ácido Mehlich⁻¹ (H_2SO_4 0,0125 mol/L + HCl 0,05 mol/L). No caso dos fosfatos naturais reativos, de forma menos pronunciada, o problema também ocorre com o método da resina de dupla troca (aniônica e catiônica) adotado nos laboratórios do País (Sousa; Rein, 2009; Freitas et al., 2013). Isso leva à superestimativa da disponibilidade de P no solo para as plantas, problema que persiste até a completa dissolução desses fosfatos no solo.

Outros fertilizantes

Fertilizantes organominerais nas formas granulada ou peletizada têm sido produzidos comercialmente a partir de fosfato monoamônico (MAP) e outros fertilizantes minerais e camas/esterco de aves, torta de filtro ou outros resíduos orgânicos, na proporção em massa ao redor de 1:1 (mineral:orgânica). Aplicados no sulco de plantio ou superficialmente sobre o palhço na cana-soca, maior eficiência agrônômica em produtividade de colmos foi verificada com a utilização desses produtos em relação aos fertilizantes minerais aplicados nas mesmas doses de N, P e K totais (Sousa, 2014; Cruscio et al., 2020). Nessas condições, foi econômica a utilização dos fertilizantes organominerais, mesmo com custos por quantidade de nutrientes aproximadamente 50% superior em relação os fertilizantes minerais. Contudo, não é possível generalizar recomendações de utilização desses produtos, considerando-se suas diferentes origens e preços e o fato de não haver critérios estabelecidos que permitam estimar em que condições se pode esperar maior resposta da cultura em relação aos fertilizantes minerais.

Embora, a curto e médio prazos (um a três cortes), possa eventualmente ser viável a aplicação de menores doses de P na forma de fertilizantes tidos como mais eficientes, essa prática não é sustentável se essas doses forem inferiores às quantidades exportadas nos colmos colhidos, já que a longo prazo é o balanço entre o aporte e a saída de nutrientes o determinante da produtividade nos solos intemperizados com baixa reserva de nutrientes predominantes das regiões canavieiras.

Referências

- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873-928.
- BAIO, F. H. R.; MOLIN, J. P.; POVH, F. P. Agricultura de precisão na adubação de grandes culturas. In: PRADO, R. de M.; CAMPOS, C. N. S. (ed.). **Nutrição e adubação de grandes culturas**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2018. p. 351-379.
- BARBOSA, L. C.; MAGALHÃES, P. S. G.; BORDONAL, R. O.; CHERUBIN, M. R.; CASTIONI, G. A. F.; TENELLI, S.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Soil physical quality associated with tillage practices during sugarcane planting in south-central Brazil. **Soil Tillage Research**, v.195, 104383, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104383>.
- BARBOSA, L. C.; SOUZA, Z. M. de; FRANCO, H. C. J.; ROSSI NETO, J.; SANCHES, G. M.; KÖLLN, O. T.; CASTRO, S. A. Q. de; CASTRO, S. Q.; CASTIONI, G. A. F.; CARVALHO, J. L. N. Efeito da rotação de culturas e do preparo do solo na biomassa radicular da cana-planta. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 10., 2016, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: STAB, 2016. p. 113-116.
- BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. da S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 2165-2179, 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/biologicas/EUTROFIZACAO.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.
- BATISTA, L. M. T. **Avaliação morfofisiológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13566/1/2013_LaryssaMariaTelesBatista.pdf. Acesso em: 18 maio 2019.
- BRUNDTLAND, G. H. Our Common Future-Call for Action. **Environmental Conservation**, v. 14, p. 291-294, 1987. DOI:<https://doi.org/10.1017/S0376892900016805>.
- BUFON, V. B.; MAIA, F. C. de O.; PEREIRA, R. M. Sistema irrigado de produção de cana-de-açúcar no Brasil: métodos, recomendações e resposta produtiva. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (org.). **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura**. Piracicaba: ESALQ, 2021. Cap. 26. p. 563-592.
- CAIONE, G.; FERNANDES, F. M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, p. 189-196, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2016>.
- CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; LANDELL, M. G. A.; BIDÓIA, M. A. P.; VASCONCELOS, A. C. M. Misturas em diferentes proporções de fosfato natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2002. p. 218-224.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CARDOSO, J. A.; LACERDA, M. P. C.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; FIGUEIREDO, C. C. de. Variability of soil fertility properties in áreas planted to sugarcane in the State of Goiás, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 506-515, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200015>.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**, 11. ed. Porto Alegre: SBRS/Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: Cana-de-açúcar. Brasília, DF, 2021. 57 p. (v. 7 - Safra 2020/2021, n. 4, maio 2021). Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 08 jul. 2021.

CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M.; MARTELLO, J. M.; ALVES, C. J.; NASCIMENTO, C. A. C.; PEREIRA, J. C. R.; CANTARELLA, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. **Scientific Reports**, v. 10, 5398, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>.

CZYMMEK, K. J.; KETTERINGS, Q. M.; ROS, M. B. H.; CELA, S.; CRITTENDEN, S.; GATES, D.; WALTER, T.; LATESSA, S.; CRITTENDEN, S.; GATES, D.; WALTER, T.; LATESSA, S.; KLAIBER, L.; ALBRECHT, G. L. **The New York phosphorus runoff index**: Version 2.0. User's manual and documentation. Ithaca, NY: Cornell University, 2021. 18 p. Disponível em: http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/extension/NYPI_2_User_Manual.pdf. Acesso em: 26 set. 2021.

DALL'ORSOLETTA, D. J.; GATIBONI, L. C.; MUMBACH, G. L.; SCHMITT, D. E.; BOITT, G.; SMYTH, T. J. Soil slope and texture as factors of phosphorus exportation from pasture areas receiving pig slurry. **Science of the Total Environment**, v. 761, 144004, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144004>.

DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A. N.; LEMUNYON, J. L. Agricultural phosphorus and eutrofication: A symposium overview. **Journal of Environmental Quality**, v. 27, p. 251-257, 1998. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700020002x>.

De MARIA, I. C.; DRUGOWICH, M. I.; BORTOLETTI, J. O.; VITTI, A. C.; ROSSETTO, R.; FONTES, J. L.; TCATCHENCO, J.; MARGATHO, S. M. F. **Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2016. 100 p. (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 216). Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt126.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2021.

DIAS, H. B.; SENTELHAS, P. C. Sugarcane yield gap analysis in Brazil – a multi-model approach for determining magnitudes and causes. **Science of the Total Environment**, v. 637-638, p.1127-1136, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.017>.

DOURADO-NETO, D.; TIMM, L. C.; OLIVEIRA, J. C. M. de; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; TOMINAGA, T. T.; CÁSSARO, F. A. M. State-space approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 1215-1221, 1999. Supl. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000500025>.

FRAVET, P. R. F. de; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 618-624, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300013>.

FREITAS, I. F. de; NOVAIS, R. F.; VILLANI, E. M. de A.; NOVAIS, S. V. Phosphorus extracted by ion exchange resins and Mehlich⁻¹ from oxisols (Latosols) treated with different phosphorus rates

and sources for varied soil-source contact periods. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 667-677, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300013>.

GLÓRIA, N. A.; MATTIAZZO, M. E.; MORAES, C. J. Avaliação da fuligem como fonte de potássio e fósforo para vegetais. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993. p. 56-60.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. 4C **Nutrição de Plantas**: um manual para melhorar o manejo da nutrição de plantas, versão métrica. Piracicaba, 2013. 134 p.

KAFKAFI, U.; TARCHITZKY, J. **Fertigation**: a tool for eficiente fertilizer and water management. Paris: International Fertilizer Industry Association; Horgen: International Potash Institute, 2011. 138 p. Disponível em: https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/2011_ifa_fertigation.pdf. Acesso em: 21 fev. 2019.

KLEINMAN, P. J. A.; SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R. W.; FLATEN, D. N.; BUDA, A. R.; TAO, L.; BERGSTROM, L.; ZHU, Q. Managing agricultural phosphorus for quater quality protection: principles for progress. **Plant and Soil**, v. 349, p.169-182, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0832-9>.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; STIPP; ABDALLA, S. R. (ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 291-305.

KORNDÖRFER, G. H.; ANDERSON, D. L. Use and impact of sugar-alcohol residues vinasse and filter cake on sugar cane production in Brazil. **Sugar y Azucar**, v. 92, p. 26-35, 1997.

KORNDÖRFER, G. H.; RIBEIRO, A. C.; ANDRADE, L. C. B. Cana-de-açúcar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. J. (ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 285-288.

MATSUURA, M. I. S. F.; SEABRA, J. E. A.; CHAGAS, M. F.; SCACHETTI, M. T.; MORANDI, M. A. B.; MOREIRA, M. M. R.; NOVAES, R. M. L.; RAMOS, N. P.; CAVALETT, O.; BONOMI, A. RenovaCalc: a calculadora do programa RenovaBio. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 6., 2018, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: IBICT, 2018. p. 162-167. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1103097/1/Mariliarenovacalc.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2019.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E.; GLÓRIA, N. A. da. Determinação das várias formas de fósforo em tortas de filtro rotativo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 47, p. 147-161, 1990.

MOBERLY, P. K.; WOOD, G. H. A comparison of methods of phosphate application to ratoon cane. In: ANNUAL CONGRESS OF THE SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS' ASSOCIATION, 44., 1970, Mount Edgecombe. **Proceedings...** Mount Edgecombe: South African Sugar Technologists Association, 1970. p. 155-161. Disponível em: https://sasta.co.za/download/10/1970-1979/3447/1970_moberly_a-comparison-of-methods.pdf. Acesso em: 01 nov. 2017.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.

OLIVEIRA, M. F. M. de; FAVARETTO, N.; ROLOFF, G.; FERNANDES, C. V. S. Estimativa do potencial de perda de fósforo através da metodologia "P Index". **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p. 267-273, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000300005>.

PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar**: 30 anos de experiência. Itui: Otoni, 2013. 347 p.

PINOTI, E. B.; MARANSATTO, L. D. **Efeitos de doses e fontes de fertilizantes fosfatados na cultura de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*)**. 2014. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Mecanização e Agricultura de Precisão) – Faculdade de Tecnologia Shunji Nishimura, Pompéia. Disponível em: http://www.fatecpompeia.edu.br/arquivos/arquivos/luiz_maranato.pdf. Acesso em: 01 nov. 2015.

PRADO, R. de M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, 581984, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/581984>.

PRADO, R. de M.; SANTOS, L. C. N. dos; MODA, L. R.; SILVA JÚNIOR, G. B. da. Avaliação do estado nutricional de cultivos: Avanços e desafios. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. da. **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p. 49-83.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI - International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).

REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos; SOUSA, D. M. G. de; CARVALHO, W. P. de; LEMES, G. de C. Corrective and maintenance phosphorus fertilization on sugarcane yield in Oxisols. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2160, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02160>.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. de. Sugarcane response to phosphorus sources and placement in a very clayey Oxisol of the Brazilian Cerrado. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 28., 2013, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: International Society of Sugarcane Technologists, 2013. p.477-485. Disponível em: <https://issct.org/wp-content/uploads/proceedings/2013/Agronomy.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2019.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. de; SANTOS JÚNIOR, J. de D.G. dos; NUNES, R. de S.; KORNDÖRFER, G. H. **Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. 12 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 29). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161535/1/CT-29.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2017.

ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; TAVARES, S. Cana-de-açúcar. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. v. 3, p.161-230.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 221-237.

ROSSETTO, R.; FARHAT, M.; FURLAN, R.; GIL, M. A.; SILVA, S. F. Eficiência agrônômica do fosfato natural na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 276-282.

SÁ, M. A. C. de; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J., de D. G. dos; SOUZA, K. W. de; FRANZ, C. A. B. Produtividade da cana-de-açúcar e atributos de um Latossolo acriférrico do Cerrado sob plantio direto e convencional. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 40, p. 23-30, 2022.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; SILVA, N. F. da; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, N. B.; SOARES, F. A. L.; RIBEIRO, P. H. P. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga**, v. 20, p. 198-201, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1p198>.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES, JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARACAT NETO, J.; SIQUEIRA, D. S.; SOUZA, Z. M. de. Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 280-292, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000200008>.

SANTOS, V. R. dos; SOLTANGHEISI, A.; FRANCO, H. C. J.; KOLLN, O.; VITTI, A. C.; DIAS, C. T. dos S.; PAVINATO, P. S. Phosphate sources and their placement affecting soil phosphorus pools in sugarcane. **Agronomy**, v. 8, p. 1-15, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8120283>.

SANZONOWICZ, C. Amostragem de solos, corretivos e fertilizantes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 63-79. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SOLTANGHEISI, A.; SANTOS, V. R.; FRANCO, H. C. J.; KOLLN, O.; VITTI, A. C.; DIAS, S.; PAVINATO, P. S. Phosphate sources and filter cake amendment affecting sugarcane yield and soil phosphorus fractions. **Revista Brasileira De Ciência do Solo**, v. 43, e0180227, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180227>.

SOLTANGHEISI, A.; WITHERS, P. J.; PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; ROSSETTO, R.; CARMO, J. B. do; ROCHA, G. C.; MARTINELLI, L. A. Improving phosphorus sustainability of sugarcane production in Brazil. **GCB Bioenergy**, v. 11, p. 1444-1455, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12650>.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 283-316. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147-168. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. de S.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos. Manejo do fósforo na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. da. **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016a. p. 291-357.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. de S.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados,

2016b. 10 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 33). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154889/1/CT-33.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2022.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A. Disponibilidade de fósforo em Latossolo de cerrado sob plantio direto adubado com duas fontes de fósforo avaliada por diferentes extratores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Viçosa: SBSC; Fortaleza: UFC, 2009. 5 p. 1 CD-ROM.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. Fósforo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. v. 2, p. 67-132.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; NUNES, R. de S.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos. Long term experiments with reactive phosphate rocks for grain crops in cerrado soils. In: WORLD FERTILIZER CONGRESS OF CIEC, 16., 2014, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: CIEC, 2014. p. 58-61. Disponível em: http://www.16wfc.com/images/fertilizer/downloads/Proceedings_16WFC_high_resolution.pdf. Acesso em: 21 fev. 2015.

SOUSA, R. T. X. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar**. 2014. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12074/1/FertilizanteOrganomineralProducao.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2021.

SOUSA, R. T. X. de; KORNDÖRFER, G. H.; SOARES, R. A. B.; FONTOURA, P. R. Phosphate fertilizers for sugarcane used at pre-planting (phosphorus fertilizer application). **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, p. 1444-1455, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.990567>.

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 161-168, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162006000200008>.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. de A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 237-239. (IAC. Boletim técnico, 100).

TOMAZ, H. V. de Q. **Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo na cana-de-açúcar**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-24022010-093150/publico/Halan_Tomaz.pdf. Acesso em: 18 maio 2015.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; FERREIRA, L. R. de P. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: manejo nutricional da cultura da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. de C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. da (ed.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p. 177-205.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; AZEREDO, D. F. de. Adubação na região Centro-Sul. In: ORLANDO FILHO, J. (coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 289-313.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; FERREIRA, L. R. de P. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: manejo nutricional da cultura da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. de C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. da (ed.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p. 177-205.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; AZEREDO, D. F. de. Adubação na região Centro-Sul. In: ORLANDO FILHO, J. (coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 289-313.

ZAMBROSI, F. C. B. Phosphorus fertilizer reapplication on sugarcane ratoon: opportunities and challenges for improvements in nutrient efficiency. **Sugar Tech**, v. 23, p. 704-708, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00925-9>.

Exemplar desta publicação
disponível gratuitamente no link:
<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>

Embrapa Cerrados
BR 020 Km 18 Rod. Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
1ª impressão (2022):
30 exemplares

Impressão e acabamento
Embrapa Cerrados

Embrapa

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações

Presidente

Lineu Neiva Rodrigues

Secretário-executivo

Gustavo José Braga

Secretária

Alessandra Silva Gelape Faleiro

Membros

Alexandre Specht; Edson Eyji Sano;

Fábio Gelape Faleiro; Jussara Flores de

Oliveira Arbues; Kleber Worsley Souza;

Maria Madalena Rinaldi; Shirley da Luz Soares

Araujo

Supervisão editorial e revisão de texto

Jussara Flores de O. Arbues

Normalização bibliográfica

Shirley da Luz Soares Araujo (CRB-1/1948)

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Renato Berlim Fonseca

Foto da capa

Thomaz Adolpho Rein

CGPE 017435