

29

Circular
TécnicaPlanaltina, DF
Outubro, 2015

Autores

Thomaz Adolpho Rein

Engenheiro-agrônomo,
doutor em Soil and Crop Sciences,
pesquisador da Embrapa Cerrados,
Planaltina, DF

Djalma Martinhão Gomes de Sousa

Químico, mestre em Ciência do
Solo, pesquisador da Embrapa
Cerrados, Planaltina, DFJoão de Deus Gomes
dos Santos JúniorEngenheiro-agrônomo,
doutor em Agronomia,
pesquisador da Embrapa Cerrados,
Planaltina, DF

Rafael de Sousa Nunes

Engenheiro-agrônomo, doutor
em Agronomia, pesquisador da
Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Gaspar Henrique Korndörfer

Engenheiro-agrônomo, doutor
em Solos e Nutrição de Plantas,
professor da Universidade Federal
de Uberlândia, Uberlândia, MG

Manejo da Adubação Fosfatada para Cana-de-Açúcar no Cerrado

Introdução

Nos últimos 15 anos, verificou-se grande expansão do setor sucroalcooleiro no Cerrado. Na região Centro-Oeste (GO, MT e MS) e mesorregiões do Cerrado Mineiro, a área cultivada com cana aumentou em quase 400% e 300%, respectivamente, enquanto no Estado de São Paulo e no País como um todo, este aumento foi de aproximadamente 120% (IBGE, 2015). A expansão no Cerrado se deu principalmente sobre áreas de pastagens, seguida de áreas de lavouras e, em menor proporção, sobre a vegetação nativa. Ao contrário das áreas de lavouras, a maioria das pastagens, pouco adubadas e corrigidas, retém a baixa fertilidade herdada dos solos sob vegetação de Cerrado, ou seja, ácidos e com generalizada deficiência de nutrientes, no que se destaca o fósforo (P), principal fator limitante à produtividade agrícola desses solos (SOUSA et al., 2004).

A adubação fosfatada da cana é tradicionalmente baseada em altas doses de P aplicado exclusivamente no plantio, até 180 kg/ha de P_2O_5 no fundo do sulco. Embora indicada em geral para as culturas no Cerrado, a adubação fosfatada corretiva a lanço com incorporação (fosfatagem), que visa elevar o status de P dos solos, ainda não é prática de uso generalizado pelas usinas e fornecedores de cana. O mesmo ocorre com a adubação fosfatada de soqueira, ainda pouco adotada.

Neste texto, são apresentadas compilações de resultados experimentais sobre respostas da cana à adubação fosfatada, mostra-se que a combinação das diferentes formas e momentos de aplicação dos fertilizantes é a melhor estratégia de manejo dessa adubação, e propõem-se recomendações de adubação fosfatada para a cultura no Cerrado.

Interpretação da Análise de Fósforo no Solo

Na Tabela 1, é apresentada a interpretação da análise de P para solos do Cerrado pelos métodos atualmente adotados no Brasil, Mehlich-1 e resina trocadora de íons, com base em amostragem realizada na camada superficial de 0 cm a 20 cm (SOUSA et al., 2004). Foi elaborada a partir da experimentação com culturas anuais (principalmente soja) na região, e pode ser aplicada de forma satisfatória também à cana-de-açúcar. Nessa tabela, teores no solo que propiciam produtividade potencial (determinada principalmente pelo ambiente edafoclimático) acima de 90%, sem aplicação de fertilizante fosfatado, são classificados como "alta" disponibilidade de P. Esse teor de P é 20 mg/dm³ pelo método da resina, independentemente da textura do solo. Já para o método Mehlich-1, a interpretação deve levar em conta a textura, sendo considerados "altos" os teores de P > 6 mg/dm³ para solos de textura muito argilosa (> 60% de argila) e > 25 mg/dm³ para solos de textura arenosa (≤ 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 geral 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	6-19,0
Muito alta	100	> 35	> 40,0	> 35,0	> 18,0	> 9,0

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

Resposta da Cana-de-Açúcar à Adubação Fosfatada Corretiva

Na Tabela 2, estão compilados resultados dos trabalhos realizados no Brasil nos últimos 30 anos bem como resultados ainda não publicados de experimentos realizados pela Embrapa Cerrados que mostram as respostas da cana à adubação fosfatada corretiva (fosfatagem) em diversas regiões e condições de solo (classe, textura e disponibilidade de P). A adubação corretiva foi realizada a lanço com incorporação (arados ou grades) antes do

plantio, em doses variando de 80 a 300 kg/ha de P_2O_5 , complementando a adubação fosfatada no sulco de plantio em doses de 100 a 170 kg/ha de P_2O_5 . O aumento médio na produtividade de colmos da cana-planta proporcionado pela adubação fosfatada corretiva nestes 15 experimentos foi de 17 t/ha, que inclui os resultados de solos com disponibilidade de P “média” a “alta”, menos responsivos à essa adubação corretiva. Já para a cana-soca, o efeito residual da adubação fosfatada corretiva, avaliada em nove experimentos, proporcionou aumento médio de 13 t/ha/corte.

Tabela 2. Aumento na produtividade de colmos da cana-planta e socas em resposta à adubação fosfatada corretiva a lanço com incorporação complementando a adubação no sulco de plantio, em relação apenas à adubação no sulco, utilizando-se principalmente fertilizantes solúveis em água ou termofosfato magnésiano fundido em pó.

Local	Solo/textura	P solo ¹ mg/dm ³	P ₂ O ₅ aplicado		Aumento na produtividade		Ref. ³
			Corretiva	Sulco	Cana-planta	Soca ²	
			-----kg/ha-----		-----t/ha/corte-----		
Belmonte, BA	Argissolo/arenosa	2 (M)	100	150	27	-	a
Lençóis Paulista, SP	?/arenosa	9 (H)	100	150	22	11 (1)	b
Lençóis Paulista, SP	Neossolo/arenosa	3 (R)	200	100	68	34 (1)	c
Goianésia, GO	Latossolo/argilosa	12 (M)	170	168	2	-	d
Goianésia, GO	Latossolo/argilosa	2 (M)	170	168	19	-	d
Junqueirópolis, SP	Latossolo/arenosa	13 (R)	100	100	3	-2 (2)	e
Alta Floresta, MT	Latossolo/argilosa	0 (M)	270	150	18	-	f
Goianésia, GO	Latossolo/argilosa	0 (R)	300	112	13	19 (2)	g
Tupi Paulista, SP	Argissolo/arenosa	2 (R)	80/120/160	125	13	-	h
Camutanga, PE	Argissolo/média	11 (M)	130	168	9	-	i
Avelinópolis, GO	Latossolo/argilosa	1 (M)	150	150	17	18 (1)	j
João Pinheiro, MG	Latossolo/arenosa	1 (M)	100	125	7	15 (2)	j
João Pinheiro, MG	Latossolo/arenosa	1 (M)	100	125	9	6 (2)	j
Goiatuba, GO	Latossolo/média	10 (R)	150	170	15	16 (4)	j
Goiatuba, GO	Latossolo/m. argilosa	31 (R)	150	170	12	3 (3)	j

¹ Extratores de fósforo do solo: H=H₂SO₄ 0,25 mol/L (“0,5 N”) (BITTENCOURT et al., 1978); M=Mehlich 1 (H₂SO₄ 0,0125 mol/L + HCl 0,05 mol/L) (CLAESSEN, 1997); R=resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001).

² Aumento médio de produtividade por soca (número de socas avaliadas entre parênteses).

³ a: Reis e Caballa-Rosand (1986); b: Morelli et al. (1987); c: Morelli et al. (1991); d: Gama (2007); e: Tomaz (2010); f: Caione et al. (2011); g: Sousa e Korndörfer (2011); h: Lisboa (2014); i: Mendonça et al. (2015); j: T. A. Rein et al. – Embrapa Cerrados (não publicado).

Uma análise simples mostra o retorno econômico da adubação fosfatada corretiva, considerando-se R\$ 4,00/kg de P_2O_5 o custo do fertilizante (superfosfato triplo ou fosfato monoamônico); R\$ 30,00/ha o custo da aplicação a lanço de doses ao redor de 200 a 400 kg/ha; R\$ 70,00 o custo da incorporação com grade média; R\$ 60,00/t o preço da cana posta na esteira da usina; e R\$ 20,00/t o custo de corte, transbordo e transporte (CTT). Esses

valores permitem calcular que o investimento, na aplicação de 100 a 200 kg/ha de P_2O_5 , ao custo de R\$ 500,00 a R\$ 900,00 por hectare, seria pago com acréscimos de 12 a 22 t/ha de colmos, que, em geral, se obtém já para a cana-planta em solos com muito baixa a média disponibilidade de P (Tabela 2). Assim, todo o acréscimo de produtividade verificado nos cortes (socas) subsequentes se soma ao lucro da usina ou fornecedor de cana.

Resposta 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 pelo setor sucroalcooleiro em solos com baixa disponibilidade de P. Considerando-se ainda o espaçamento largo da cultura (1,5 m entre linhas), essa adubação resulta em grande concentração de P no solo na zona do sulco. Uma forma alternativa de utilização do fertilizante fosfatado no plantio, não contemplada nas atuais recomendações de adubação para a cultura, é a sua aplicação exclusiva a lanço com incorporação em área total. Na Tabela 3, estão compilados resultados de experimentos de adubação fosfatada de cana realizados no país nos últimos 30 anos, nos quais foram comparados os dois modos de aplicação do fertilizante fosfatado no plantio, exclusivamente no sulco ou a lanço com incorporação, na mesma dose de P_2O_5 /ha. Na média dos 12 experimentos (11 com cana-soca), a produtividade de colmos com aplicação do fertilizante exclusivamente a lanço foi de 109 e 81 t/ha/corte para cana-planta e socas, respectivamente, sendo 10 e 8 t/ha superiores em relação às produtividades obtidas com adubação no sulco de plantio (99 e 73 t/ha para cana-planta e socas). Em nenhum caso a produtividade obtida com a adubação no sulco foi estatisticamente superior em relação à adubação a lanço (análises estatísticas não apresentados).

Estes resultados, obtidos em diversas regiões e condições de solo, sugerem que a aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados no sulco de plantio não é a melhor estratégia de adubação para essa cultura.

Em nove desses experimentos foi avaliado também um tratamento com metade da dose aplicada a lanço com incorporação e metade no sulco de plantio (referências a, b, c, e, f, g, h na Tabela 3 – dados não apresentados). As produtividades médias da cana-planta e socas foram, respectivamente, 112 e 85 t/ha/corte para a aplicação a lanço, e 112 e 82 t/ha/corte para o tratamento com metade da dose a lanço e metade no sulco. Em nenhum desses experimentos, a produtividade obtida com a adubação metade 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), é melhor alternativa para essa cultura em relação à adubação exclusiva no sulco de plantio, principalmente para 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 também à pequena redistribuição/reciclagem ao longo dos cortes em função dos baixos teores de P no palhicho.

Tabela 3. Produtividade da cana-planta e socas em resposta ao modo de aplicação do fertilizante fosfatado (fontes solúveis em água ou termofosfato magnésiano fundido em pó) no plantio, sem aplicação de fósforo (Testemunha), e com o fertilizante fosfatado aplicado exclusivamente no sulco de plantio ou a lanço com incorporação.

Local	Solo/Textura	P solo ¹ mg/dm ³	P ₂ O ₅ plantio kg/ha	Cana ²	Produtividade de colmos			Ref. ³
					Testemunha	Sulco	Lanço	
					-----t/ha/corte-----			
Belmonte, BA	Argissolo/arenosa	2 (M)	100/200	Planta	28	96	115	a
				Socas	-	-	-	
Lençóis Paulista, SP	?/arenosa	9 (H)	100	Planta	62	85	97	b
				Socas (1)	66	84	95	
Lençóis Paulista, SP	Neossolo/arenosa	3 (R)	200	Planta	69	104	148	c
				Socas (1)	45	73	91	
Rio das Pedras, SP	Neossolo/arenosa	80 (R)	120	Planta	61	74	83	d
				Socas (2)	55	60	79	
Junqueirópolis, SP	Latossolo/arenosa	13 (R)	100/200	Planta	126	144	145	e
				Socas (2)	85	86	85	
Santa Rita, PB	Argissolo/arenosa	7 (M)	200	Planta	63	81	88	f
				Socas (1)	53	61	64	

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Local	Solo/Textura	P solo ¹ mg/dm ³	P ₂ O ₅ plantio kg/ha	Cana ²	Produtividade de colmos			Ref. ³
					Testemunha	Sulco	Lanço	
					t/ha/corte			
Carpina, PE	Argissolo/média	14 (M)	200	Planta	87	96	108	f
				Socas (1)	69	87	101	
C. S. Agostinho, PE	Argissolo/argilosa	4 (M)	200	Planta	68	86	74	f
				Socas (1)	25	34	34	
Brasília, DF	Latossolo/m. argilosa	1 (M)	200	Planta	75	105	123	g
				Socas (4)	46	72	85	
Tupirama, TO	Argissolo/arenosa	3 (M)	150	Planta	83	89	87	h
				Socas (1)	108	100	107	
João Pinheiro, MG	Latossolo/arenosa	1 (M)	150	Planta	89	109	125	h
				Socas (2)	55	71	69	
Goiatuba, GO	Latossolo/m. argilosa	9 (R)	200	Planta	108	123	119	h
				Socas (2)	65	76	81	

¹ Extratores de fósforo do solo: H=H₂SO₄ 1 mol/L ("0,5 N") (BITTENCOURT et al., 1978); M=Mehlich 1 (H₂SO₄ 0,0125 mol/L + HCl 0,05 mol/L) (CLAESSEN, 1997); R=resinatrocadora de íons (RAIJ et al., 2001).

² Número de socas avaliadas entre parênteses.

³ a: Reis e Caballa-Rosand (1986); b: Morelli et al. (1987); c: Morelli et al. (1991); d: Rossetto et al. (2002); e: Tomaz (2010); f: Costa (2012); g: Rein e Sousa (2013) e T. A. Rein et al. – Embrapa Cerrados (não publicado); h: T. A. Rein et al. – Embrapa Cerrados (não publicado).

Resposta da Cana-de-Açúcar à Adubação Fosfatada de Soqueira

A adubação fosfatada de soqueira, embora recomendada para solos com disponibilidade de P ≤ "adequada", conforme Tabela 1 (KORNDÖRFER et al., 1999; SOUSA; LOBATO, 2004; SPIRONELLO et al., 1996), ainda é pouco adotada. Isto se deve em parte aos resultados controversos com relação às respostas da cana a essa prática, principalmente da experimentação realizada nas décadas de 1970 e 1980 (PENATTI, 2013; ZAMBELLO JÚNIOR; AZEREDO, 1983). Na Tabela 4, estão compilados resultados de 18 experimentos de adubação fosfatada de soqueira realizados a partir de meados da década de 1980 em diversas regiões, condições de solo e adubação fosfatada de plantio, com cana queimada e crua, com e sem incorporação do fertilizante ao solo. Ganhos significativos de produtividade foram verificados em vários experimentos, principalmente naqueles

com baixa disponibilidade de P no solo e (ou) baixa adubação fosfatada de plantio. Nessas situações, são frequentes ganhos de produtividade ao redor de 10 t/ha/corte. Três dos experimentos (Tabela 4 – referências a, b,c), em que a adubação fosfatada foi realizada em socas alternadas ou apenas na primeira, mostram ainda o grande efeito residual no aumento de produtividade das socas subsequentes.

Na Tabela 4, mostra-se ainda que aumentos de produtividade em resposta à adubação fosfatada de soqueira são verificados tanto para cana queimada quanto crua, com ou sem incorporação do fertilizante ao solo. Na ausência de incorporação, é provável que o atual sistema de colheita de cana crua favoreça a utilização pela soca do P aplicado superficialmente, pois a condição superficial do solo propiciada pelo denso palhico residual, com maior umidade e menor temperatura, favorece o crescimento de raízes superficiais.

Tabela 4. Aumento médio na produtividade da cana-soca por corte em resposta à adubação fosfatada de soqueira com fertilizantes solúveis em água, incorporados ao solo (inc.) ou aplicados superficialmente (sup.), em experimentos com cana queimada ou crua – TCH, tonelada de colmos por hectare (número de socas avaliadas entre parênteses).

Local	Solo/textura	P solo ¹ mg/dm ³	P ₂ O ₅ no sulco de plantio ² kg/ha	P ₂ O ₅ soca ² kg/ha/soca	Modo de aplicação/ colheita	Aumento TCH t/ha/corte	Ref. ⁴
Araras, SP	Argissolo/?	5 (H)	0	45/90 ³	Inc./queimada	31 (3)	a
Araras, SP	Argissolo/?	5 (H)	150	45/90 ³	Inc./queimada	9 (3)	a
Pirassununga, SP	Argissolo/arenosa	7 (H)	0/50/100	50 ³	Inc./queimada	9 (2)	b
Linhares, ES	Argissolo/média	6 (H)	100	50 ³	??	15 (3)	c
Linhares, ES	Argissolo/média	6 (H)	200	50 ³	??	-5 (3)	c

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Local	Solo/textura	P solo ¹	P ₂ O ₅ no sulco de plantio ²	P ₂ O ₅ soca ²	Modo de aplicação/ colheita	Aumento TCH	Ref. ⁴
		mg/dm ³	kg/ha	kg/ha/soca			
Ponte Nova, MG	Argissolo/argilosa	19 (H)	100	50 ³	??	-4 (4)	c
Ponte Nova, MG	Argissolo/argilosa	19 (H)	200	50 ³	??	0 (4)	c
Cambará, PR	Latossolo/argilosa	4 (M)	?	100	Inc./queimada	5 (2)	d
Cambará, PR	Latossolo/argilosa	4 (M)	?	100	Inc./queimada	6 (1)	d
Promissão, SP	Latossolo/?	2 (R)	100	60/120	Inc./?	8 (1)	e
Promissão, SP	Latossolo/?	4 (R)	100	60/120	Sup./?	2 (1)	e
Penápolis, SP	Latossolo/?	5 (R)	180	45/90	Inc./queimada	13 (1)	f
?	?/argilosa	29 (R)	?	30/60	Inc./queimada	-1 (3)	g
?	?/média	?	100	50	??	11 (4)	g
Santa Rita, PB	Argissolo/arenosa	7 (M)	0/40/80/120/160/200	40	??	4 (1)	h
Carpina, PE	Argissolo/média	14 (M)	0/40/80/120/160/200	40	??	13 (1)	h
C. S. Agostinho, PE	Argissolo/argilosa	4 (M)	0/40/80/120/160/200	40	??	0 (1)	h
Casa Branca, SP	Latossolo/arenosa	8 (R)	?	35	Sup./crua	9 (1)	i
Goiatuba, GO	Latossolo/média	10 (R)	170	40	Sup./crua	18 (4)	j
Goiatuba, GO	Latossolo/média	10 (R)	150 (corretiva)+ 170	40	Sup./crua	8 (4)	j
Goiatuba, GO	Latossolo/m. argilosa	31 (R)	170	40	Sup./crua	3 (3)	j
Tupirama, TO	Argissolo/arenosa	3 (M)	150	40	Sup./queimada	16 (1)	j

¹ Extratores de fósforo do solo: H=H₂SO₄ 1 mol/L ("0,5 N") (BITTENCOURT et al., 1977); M=Mehlich 1 (H₂SO₄ 0,0125 mol/L + HCl 0,05 mol/L) (CLAESSEN, 1997); R=resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001).

² Aumento de produtividade (TCH)em cada situação refere-se a média dessas doses de fósforo no sulco de plantio e nas socas.

³ Fósforo aplicado apenas na primeira soca (referências b e c) e em socas alternadas (referência a).

⁴ a: Medeiros (1988); b: Korndörfer e Alcarde (1992); c: Bolsanello et al. (1993); d: Weber et al. (2001); e: Resende et al. (2003); f: Zambrosi (2012); g: Penatti (2013); h: Costa et al. (2014); i: Peres (2014); j: T. A. Rein et al. – Embrapa Cerrados (não publicado).

Recomendações de Adubação Fosfatada para a Cana-de-Açúcar no Cerrado

Os resultados experimentais compilados nas Tabelas 2, 3 e 4 mostram, principalmente para solos com disponibilidade de P < "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 pelo menos equivalente em relação à adubação no sulco; (c) uso eficiente pela cultura do fertilizante fosfatado aplicado nas socas, com ou sem sua incorporação ao solo. As recomendações a seguir exploram a combinação dessas diferentes estratégias de adubação, buscando produtividade e a manutenção ou elevação da disponibilidade de P do solo ao longo das socas e ciclos da cultura.

Nas recomendações de adubação, foi considerado o potencial produtivo da cana, determinado principalmente pelo ambiente edafoclimático, época de corte, variedade e outros aspectos do manejo do solo e da cultura. A tendência é de se obter 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 a 30 kg de P₂O₅ para 100 t de colmos (ROSSETTO et al., 2008), em função da disponibilidade de P do solo, adubação fosfatada e variedade, entre outros fatores. Mais comumente, esse valor está ao redor de 20 a 25 kg de P₂O₅ por 100 t de colmos. Assim, é exportado do talhão ao redor de 100 kg/ha de P₂O₅ para produtividades de 400 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 P₂O₅ para canas produzindo aproximadamente 100 t/ha de colmos, é reciclada com a decomposição do palhicho.

A adubação fosfatada, em geral, não afeta significativamente a qualidade tecnológica da cana com relação ao teor de açúcar (ATR – açúcar total recuperável). 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 pelo nível de 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 (fosfatagem), conforme recomendada para culturas anuais no Cerrado (SOUSA et al., 2004), visa elevar a disponibilidade de P do solo para a classe “adequada” (Tabela 1), no qual, já se atinge aproximadamente 80% do potencial produtivo no ano sem outra complementação de fertilizante fosfatado. Esse nível corresponde a teores de P no solo de 15 mg/dm³ pelo método da resina, e 18, 15, 8 e 4 mg/dm³ pelo método Mehlich-1 para solos de textura arenosa, média, argilosa e muito argilosa, respectivamente. É realizada a lanço em área total e incorporada com grades ou arados na profundidade por volta de 15 cm, na qual, a densidade de raízes da cana-de-açúcar é alta.

A dose de fertilizante fosfatado para se atingir esses teores de P no solo pode ser estimada a partir da “capacidade tampão de fósforo do solo” (CTP), cujos valores para solos do Cerrado com diferentes texturas estão apresentados na Tabela 5 (SOUSA et al., 2006). A CTP corresponde à dose de P₂O₅ necessária para se elevar em 1 mg/dm³ o teor de P na camada amostrada de 0 cm a 20 cm do solo, de acordo com os métodos da resina e Mehlich-1. A CTP aumenta com o teor de argila, responsável pelas reações de adsorção (insolubilização) do P no solo. Conhecendo-se o teor atual de P do solo, a dose de P₂O₅ na adubação corretiva é calculada a partir da seguinte equação:

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

Tabela 5. Capacidade tampão de fósforo do solo (CTP) para cálculo da dose de P₂O₅ na adubação corretiva em função da textura, com base nos métodos resina e Mehlich-1.

Textura	Argila %	Capacidade tampão de P do solo ⁽¹⁾	
		Resina --[kg/ha P ₂ O ₅] / [mg/dm ³ P solo]--	Mehlich-1
Arenosa	≤15	6	5
Média	16-35	9	9
Argilosa	36-60	14	30
M. argilosa	> 60	19	70

¹ Dose necessária de P₂O₅ (kg/ha) para elevar em 1 mg/dm³ os teores de fósforo avaliados pelos métodos resina e Mehlich-1 em solos de diferentes texturas adubados e amostrados na camada de 0 cm a 20 cm.

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2006).

Na Figura 1, está exemplificada a aplicação dessa equação, no cálculo da dose de P₂O₅, necessária para se elevar a 15 mg/dm³ o teor de P pelo método da resina em solos de diferentes texturas e teores atuais de P. As doses recomendadas diminuem com o aumento nos teores atuais de P no solo e variam de 90 a 285 kg/ha de P₂O₅ para solos arenosos a muito argilosos com muito baixa (0 mg/dm³) disponibilidade de P.

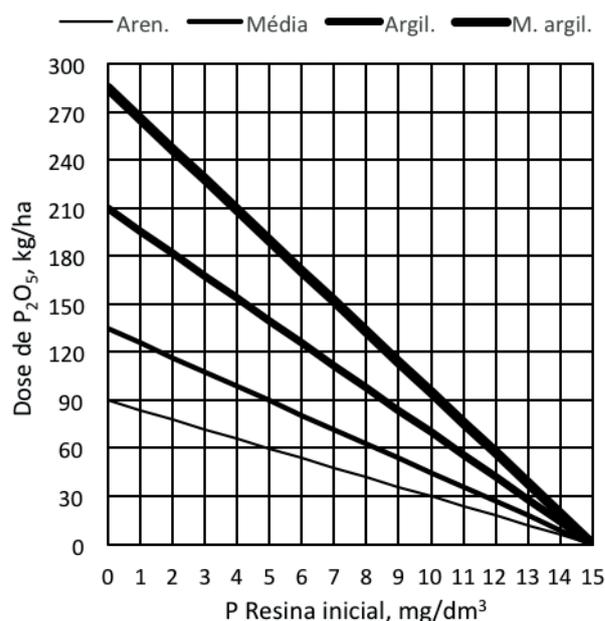


Figura 1. Doses requeridas de P₂O₅ na adubação corretiva para elevar a 15 mg/dm³ o teor de fósforo na camada de 0 cm a 20 cm em solos de diferentes texturas e teores iniciais de fósforo, avaliado pelo método da resina.

A adubação fosfatada corretiva pode ser realizada antes do plantio ou antecipadamente, beneficiando a produtividade da cultura/adubo verde em rotação na reforma do canavial, propiciando, ainda, maior aporte ao solo de restos culturais/biomassa o que também pode favorecer a cana.

Recomendação de adubação fosfatada de plantio

Na Tabela 6, é apresentada a recomendação de adubação fosfatada no sulco de plantio, de acordo com 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 na 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 é a mesma em relação à indicada para a classe “adequada” (Tabela 6), complementando a adubação corretiva previamente realizada.

Como a eficiência de utilização pela cana do fertilizante fosfatado aplicado a lanço com incorporação se mostrou superior na maioria dos casos ou pelo menos equivalente em relação à aplicação no sulco de plantio (item Resposta da Cana-de-Açúcar ao Modo de Aplicação de Fósforo no Plantio), a dose de P_2O_5 , no plantio, recomendada na Tabela 6 pode ser somada à da adubação corretiva (item Recomendação de adubação fosfatada corretiva) e o fertilizante aplicado todo a lanço e incorporado. Contudo, a adubação no sulco propicia, em geral, distribuição mais homogênea dos fertilizantes em relação às adubações a lanço com os equipamentos que predominam nas unidades de produção. Além disso, é possível que essa adubação concentrada na zona de crescimento das primeiras raízes da planta e perfilhos favoreça o desenvolvimento inicial da cultura, aspectos que podem tornar importante a manutenção da adubação fosfatada no sulco de plantio, limitada às doses recomendadas (Tabela 6). 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 (fosfatos monoamônico e diamônico), é outro aspecto a ser considerado no manejo da adubação de plantio.

Tabela 6. Recomendação de adubação fosfatada no sulco de plantio.

Produtividade potencial	Classe de disponibilidade de P no solo ¹		
	Adequada ¹	Alta	Muito alta
t/ha colmos	-----kg/ha P_2O_5 -----		
< 100	80	60	40
101-130	100	80	60
131-160	120	100	80

¹ Essas doses de P_2O_5 indicadas para solos com disponibilidade “adequada” de P são recomendadas também para solos com disponibilidade inicial “muito baixa”, “baixa” e “média” (Tabela 1), complementando a adubação fosfatada corretiva (item *Recomendação de adubação fosfatada corretiva*).

Recomendação de adubação fosfatada da soqueira

Na Tabela 7, é apresentada a recomendação de doses de P_2O_5 para a cana-soca, de acordo com a produtividade potencial e a classe de disponibilidade de P no solo amostrado após o primeiro corte (cana-planta). Doses de 20 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 de acordo com a Tabela 1, é ≤ “adequada” (KORNDÖRFER, 1999; SOUSA; LOBATO, 2004; SPIRONELLO et al., 1996).

Com a adubação fosfatada corretiva previamente realizada (conforme recomendação), a expectativa é de que os teores de P no solo (fora da zona do sulco) estejam nas classes “média” ou “adequada”. Estando ainda na classe “média” ou abaixo, indicam-se as doses de 40 a 60 kg/ha de P_2O_5 apenas para a primeira soca, e para as socas seguintes as mesmas doses recomendadas para a classe “adequada” de disponibilidade (20 a 40 kg/ha de P_2O_5 de acordo com a expectativa de produtividade) (Tabela 7).

Tabela 7. Recomendação de adubação fosfatada na soqueira.

Produtividade potencial	Classe de disponibilidade de P no solo			
	≤ Média	Adequada	Alta	Muito alta
t/ha colmo	-----kg/ha/soca P_2O_5 -----			
< 60	40	20	0	0
61-90	40	40	20	0
91-120	60	40	20	0

O fertilizante fosfatado, puro ou em formulações NPK, pode ser aplicado superficialmente em linhas ou faixas estreitas nas duas laterais da linha de cana ou em faixa sobre a linha de cana. A possibilidade de aplicação superficial a lanço em área total não foi ainda devidamente avaliada. O fertilizante pode ser também incorporado em linha, o que se justifica no caso de formulações NPK ou NP com ureia. 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 nova adubação fosfatada corretiva por ocasião da próxima reforma do canavial.

Amostragem do Solo para Diagnóstico 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. Entre os principais atributos da fertilidade do solo, o P é o mais variável nos solos canavieiros (CARDOSO et al., 2014; SANCHEZ et al., 2012). Essa variabilidade é causada pelas adubações localizadas no fundo do sulco de plantio e em linhas ou faixas nas socas bem como pela baixa mobilidade do P no solo e redistribuição pelo palhicho, já que seus teores de P são baixos. Isso faz com que o número de amostras simples (subamostras), requeridas para compor uma amostra composta que seja representativa da área (com erro aceitável de $\pm 20\%$), seja alto, impraticável em algumas situações. É inviável a amostragem com trados para a caracterização do status de fósforo na camada abaixo de 20 cm, na qual, em geral, se encontram os veios residuais das adubações no sulco de plantio dos ciclos anteriores de cana.

Outras questões relativas à amostragem de solo referem-se a sua frequência e posição amostral em relação à linha de cana. Sugere-se a realização de pelo menos duas amostragens ao longo do ciclo da cana, após o corte da cana-planta e após a penúltima ou última soca antes da reforma. Na amostragem após a colheita da cana-planta, indica-se a coleta de 25 subamostras em um talhão uniforme (mesma unidade pedológica e histórico de uso), zona de manejo ou quadrícula no caso da amostragem em malha. O caminhar em diagonal na área amostrada agiliza a amostragem, que pode ser sistemática (posições ao redor de 0 cm, 25 cm, 50 cm e 75 cm a partir da linha no caso do espaçamento de 1,5 m entre linhas) ou ao acaso. Já na amostragem realizada após a penúltima ou última soca, a variabilidade é maior, como resultado das adubações com nitrogênio, fósforo e potássio realizadas próximas à linha de cana, com acidificação mais intensa do solo nessa zona. Nesse caso, indica-se a tomada de duas amostras compostas, uma representando a zona adubada da linha de cana, ao redor de 35 cm de cada lado, e outra representando a zona da entrelinha, por volta de 35 cm a 75 cm para espaçamento entre linhas de 1,5 m. O mesmo

número de subamostras (25) deve ser coletado para cada amostra composta. As decisões com relação à calagem na reforma do canavial, adubação fosfatada corretiva e outras adubações da cana-planta devem ser tomadas com base na média dos resultados dessas duas amostras.

Mudanças nas práticas de adubação fosfatada, com maior participação de adubações a lanço em relação ao sulco de plantio, contribuirão para melhor qualidade da amostragem dos solos canavieiros associada à menor variabilidade do solo na escala linha/entrelinha. O registro organizado dos resultados analíticos é fundamental para se avaliar a consistência dos resultados do ano em relação aos anteriores, trazendo maior segurança à sua interpretação e recomendações de adubação. Deve ser selecionado um laboratório que participe de programa de controle de qualidade de análise de solo, com selo de qualidade do ano referente ao seu desempenho no ano anterior.

A diagnose foliar é utilizada na avaliação do estado nutricional da cultura e pode complementar a análise do solo nas tomadas de decisão com relação ao manejo da fertilidade. A folha amostrada é a +1, primeira folha mais jovem com a aurícula (colarinho) visível. Amostra-se pelo menos 25 folhas de uma área uniforme para compor a amostra, coletando-se apenas o terço central da folha e eliminando-se a nervura principal. A amostragem deve ser realizada na fase de pleno desenvolvimento da cultura, por volta de janeiro a fevereiro, nas condições da região Centro-Sul. As amostras devem ser imediatamente levadas ao laboratório ou previamente secas ao ar. Canas bem nutridas apresentam teores na folha acima de 1,5 g/kg de P (RAIJ et al., 1996), enquanto aquelas muito deficientes em P apresentam teores ao redor de 1,0 g/kg. Contudo, a análise foliar é em geral pouco sensível para detectar com segurança a deficiência moderada de P na cana, situação mais comum nos canaviais.

Fontes Alternativas de Fósforo na Adubação da Cana-de-Açúcar

As recomendações apresentadas referem-se à utilização de fertilizantes fosfatados solúveis em água bem como às formulações líquidas à base de fosfato monoamônico (MAP) ou ácido fosfórico, com P prontamente disponível às plantas.

Aplicam-se também a alguns fertilizantes com muito baixa solubilidade em água, mas que reagem rapidamente no solo, como o termosfosfato magnésiano fundido em pó e subprodutos/resíduos diversos na forma de fosfato bicálcico em granulometria farelada fina (ambos solúveis em ácido cítrico), tanto na adubação corretiva como no sulco de plantio. Esses fertilizantes não foram ainda devidamente avaliados na adubação de soqueira, aplicados superficialmente sobre o palhiço sem incorporação.

A ampla utilização dos resíduos da indústria sucroalcooleira permite eficiente reciclagem de nutrientes e grande economia de fertilizantes na usina. A torta de filtro e as cinzas/fuligem das caldeiras/chaminés 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 apresenta teores ainda mais variáveis, raramente acima de $0,2 \text{ kg/m}^3$ (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 dos colmos) e presença de terra como impureza. Portanto, a utilização racional desses resíduos como fertilizantes requer o monitoramento e controle 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 a maior parte do P na forma mineral solúvel em ácido cítrico (GLÓRIA et al., 1993; MATTIAZZO-PREZOTTO; GLÓRIA, 1990), com reconhecida eficiência agrônômica no suprimento de P e outros nutrientes às plantas, além de outros efeitos benéficos advindos do aporte de matéria orgânica (KORNDÖRFER, 2004; KORNDÖRFER; ANDERSON, 1997; ROSSETTO et al., 2010).

Com base nesses estudos e em recomendações de uso de fertilizantes orgânicos em geral (MANUAL..., 2004; RAIJ et al., 1996), pode-se considerar como pelo menos 70% a eficiência relativa da torta de filtro, pura ou compostada com as cinzas/fuligem, como fonte de P para a cana já no ano da aplicação. Como exemplo, no cálculo da dose de torta para uma recomendação de 120 kg/ha de P_2O_5 , a dose requerida seria $[120 \times (100/70)] = 171 \text{ kg/ha}$ de P_2O_5 na forma de torta, com base no seu teor de

P_2O_5 total. Assim, esses resíduos podem substituir ou complementar os fertilizantes fosfatados minerais nas doses recomendadas, aplicados a lanço incorporados, no sulco de plantio ou nas socas sobre o palhiço.

Cinzas provenientes da queima do palhiço 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.

Cama de frango, esterco de poedeiras, esterco bovino, dejetos suíno e lodo de esgoto, os primeiros já amplamente utilizados na cana, apresentam teores variáveis de P_2O_5 total no material seco, respectivamente ao redor de 3%, 4%, 1,5%, 2 kg/m^3 (dejetos suíno com 3% de matéria seca) e 3% (MANUAL..., 2004; 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.

Fosfatos naturais reativos na forma farelada (teor mínimo de 27% de P_2O_5 total e 30% de solubilidade em ácido cítrico 2%, 1:100) são utilizados para diversas culturas, incluindo a cana. Sendo insolúveis em água, tornam-se disponíveis às plantas após reação com o solo, que propicia sua dissolução. Ao serem avaliados para a cana em solos responsivos ao P, em aplicações a lanço com incorporação ou no sulco de plantio com base no teor de P_2O_5 total (CAIONE et al., 2013; CANTARELLA et al., 2002; PINOTI; MARANSATTO, 2014; REIN; SOUSA, 2013; REIN, T. A. et al., não publicado; ROSSETTO et al., 2002; SOUSA; KORNDÖRFER, 2011; TOMAZ, 2010), sua eficiência relativa foi em algumas situações equivalente às fontes solúveis já para a cana-planta. Em outras situações, sua eficiência inicial foi inferior, aumentando ao longo dos cortes. Esses fosfatos não foram ainda devidamente avaliados quanto à aplicação superficial sobre o palhiço 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 destes fosfatos para culturas diversas no Cerrado (SOUSA et al., 2004, 2010, 2014), recomenda-se sua utilização para a cana 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 para a cana-planta (efeito inicial) é esperada para aqueles com maior solubilidade em ácido cítrico. Considerando-se a incerteza associada à eficiência inicial desses fosfatos, 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.

Novos Sistemas de Cultivo de Cana-de-Açúcar e Considerações Finais

Estas recomendações se aplicam ao sistema de cultivo tradicional da cana na região, ou seja, cana crua, de sequeiro ou apenas com irrigação de salvamento, e com preparo do solo com arados e/ou grades por ocasião da renovação do canavial. A cana no Cerrado sob regimes de irrigação plena ou próximos a este tem atingido produtividades de até 250 t/ha para a cana-planta e superiores a 200 t/ha para as primeiras socas. Para essa condição de alta produtividade, elevada exportação de nutrientes nos colmos e plena segurança no retorno dos investimentos na cultura, a adubação fosfatada corretiva pode ser elevada para o nível de P no solo correspondente a 90% de produtividade potencial (Tabela 1), conforme já recomendado para culturas irrigadas em geral no Cerrado (SOUSA et al., 2004). Ajustes na adubação da cana-soca serão também necessários.

O plantio direto de cana (sem preparo do solo por ocasião da renovação do canavial), cultivo mínimo (apenas subsolagem/escarificação) e sistemas de encanteiramento (preparo localizado na linha/faixa de plantio) também exigirão adaptações dessas recomendações, principalmente com relação à adubação corretiva. Por fim, adaptações serão necessárias também em função dos diferentes sistemas de amostragem do solo adotados nas propriedades, no que se refere à profundidade e zonas monitoradas (faixa adubada/entrelinha).

Com a ampliação da experimentação e outros estudos na região, espera-se continuamente aprimorar essas recomendações englobando situações diversas.

Referências

- BITTENCOURT, V. C. de; ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Determination of available P for sugarcane in tropical soils by extraction with H_2SO_4 0.5N. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 16., 1977, São Paulo. *Proceedings...* São Paulo: Inpress, 1978. v. 2, p. 1175-1186.
- BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; AZEREDO, D. F. Adubação fosfatada em cana-de-açúcar: doses e complementação. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., 1993, Águas de São Pedro. *Anais...* Piracicaba: STAB, 1993. p. 65-69.
- 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*, Recife, v. 8, n. 2, p. 189-196, 2013.
- CAIONE, G.; TEIXEIRA, M. T. R.; LANGE, A.; SILVA, A. F. da; FERNANDES, F. M. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, Alta Floresta, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2011.
- 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.
- 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, n. 2, p. 506-515, mar./abr. 2014.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).
- COSTA, D. B. da. *Adubação fosfatada da cana-de-açúcar: disponibilidade de fósforo e formas de aplicação*. 2012. 83 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- COSTA, D. B. da; ANDRADE, P. K. B. de; SILVA, S. A. M. da; SIMÕES NETO, D. E.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, E. C. A. de. Adubação fosfatada em cana planta e soca em argissolos do Nordeste de diferentes texturas. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 47-56, out./dez. 2014.
- GAMA, A. J. M. *Sistema de rotação e adubação fosfatada na cultura da cana-de-açúcar no Cerrado*. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- 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.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**: produção agrícola municipal 2013. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=18&i=P>>. Acesso em: 22 ago. 2015.
- 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.; ALCARDE, J. C. Aplicação de fósforo e rendimento de cana soca e ressoça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 183-186, maio/ago. 1992.
- 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.
- LISBOA, L. A. M. **Efeitos da fosfatagem em pré-plantio nas condições químicas do solo e no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar**. 2014. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Campus Experimental de Dracena; Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Dracena; Ilha Solteira.
- MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E.; GLÓRIA, N. A. da. Determinação das várias formas de fósforo em tortas de filtrorotativo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 47, n. 1, p. 147-161, 1990.
- MEDEIROS, A. M. L. **Efeito da adubação fosfatada no plantio e em soqueiras**. 1988. Relatório técnico. Disponível em: <[http://www.sigacana.com.br/Cana_de_acucar/AdubFosfatada/Artigos/MEDEIROS1988A/ADUFOS20A%7BMEDEIROS\(1988A\)%7D](http://www.sigacana.com.br/Cana_de_acucar/AdubFosfatada/Artigos/MEDEIROS1988A/ADUFOS20A%7BMEDEIROS(1988A)%7D)>. Acesso em: 8 jul. 2015.
- MENDONÇA, M. F.; ARAÚJO, W. P.; PEREIRA JÚNIOR, C. C.; CHAVES, L. H. G.; SILVA, F. de A. F. D. da. Preparo do solo e fosfatagem – II. Rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 1, p. 14-21, jan./abr. 2015.
- MORELLI, J. L.; DEMATTÊ, J. L. I.; SILVA, J. A. V.; BAPTISTELLA, J. R.; GIOVANETTI, L. Z. Efeitos da aplicação do superfosfato simples em área total e dentro do sulco. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4.; CONVENÇÃO DA ACTALAC, 13., 1987, Olinda. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1987. p. 76-83.
- MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; BAPTISTELA, J. R.; DEMATTÊ, J. L. I. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 57-61, jan./abr. 1991 KORNDÖRFER.
- PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar**: 30 anos de experiência. Itui: Otoni, 2013. 347 p.
- PERES, C. E. B. **Eficiência agrônômica de fontes de fósforo e micronutrientes sobre a produtividade e qualidade tecnológica em soqueira de cana-de-açúcar**. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- 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: 17 ago. 2015.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 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 Agrônomo, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).
- 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: CONGRESSO THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 28., 2013, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: International Society of Sugar Cane Technologists, 2013. 9 p. 1 pen drive.
- REIS, E. L.; CABALA-ROSAND, P. Respostas da cana-de-açúcar ao nitrogênio, fósforo e potássio em solo de tabuleiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 129-134, 1986.
- RESENDE, R. H.; KORNDÖRFER, G. H.; JARUSSI, R. O.; VOSS, L. R.; BARBOSA, D. S.; CORRÊA, G. F.; CAMARGO, M. S. de; PEREIRA, H. S. Termofosfato Yoorin na produção agrícola, absorção de fósforo e qualidade do caldo da cana-soca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos expandidos...** Botucatu: UNESP, 2003. 4 p. 1 CD-ROM.
- 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 Agrônomo, 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.
- 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**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 280-292, mar./abr. 2012.

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.

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.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Recomendação de adubação fosfatada com base na capacidade tampão de fósforo do solo para a região do Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito. **Fertbio 2006: a busca das raízes: anais**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 82).

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: 24 ago. 2015.

SOUSA, R. T. X. de; KORNDÖRFER, G. H. Efeito da aplicação de fertilizantes fosfatados na produtividade e variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-10, 2011.

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 Agrônomo, 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.

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.

WEBER, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BARELA, J. D. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana de açúcar com adubação NPK. **Scientia Agraria**, Paraná, v. 2, n. 1-2, p. 73-77, 2001.

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. Adubação com fósforo em cana-soca e sua interação com magnésio. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p. 400-405, out. 2012.

Phosphorus Fertilizer Management for Sugar cane in the Brazilian Cerrado

Abstract

The Brazilian literature data and our unpublished experimental results on phosphorus fertilization of sugarcane concerning responses to corrective (buildup) fertilization, fertilizer placement methods at planting and ratoon fertilization are summarized. Phosphorus fertilization guidelines for sugarcane in the Brazilian Cerrado based on soil testing and yield potential are proposed.

Index terms: Saccharum spp., phosphate, soil testing, fertilizer placement, buildup fertilization.

Circular Técnica, 29

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Cerrados
Endereço: BR 020, Km 18, Rodovia Brasília/ Fortaleza
 Caixa postal: 08223 CEP 73310-970
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
E-mail: www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

1ª edição
 1ª impressão (2015): 300 exemplares



Ministério da
 Agricultura, Pecuária
 e Abastecimento



Comitê de publicações

Presidente: *Claudio Takao Karia*
Secretária executiva: *Marina de Fátima Vilela*
Secretárias: *Maria Edilva Nogueira*
Alessandra Silva Gelape Faleiro

Expediente

Supervisão editorial: *Jussara Flores de O. Arbues*
Revisão de texto: *Jussara Flores de O. Arbues*
Normalização bibliográfica: *Rejane Maria de Oliveira*
Editoração eletrônica: *Leila Sandra G. Alencar*
Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*
Alexandre Moreira Veloso