

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARIANA ALVES BORGES

FOSFATAGEM COM FOSFATO ALUMINOSO CALCINADO
EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Uberlândia – MG

ABRIL – 2019

MARIANA ALVES BORGES

**FOSFATAGEM COM FOSFATO ALUMINOSO CALCINADO
EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Curso de graduação em Agronomia, para obtenção do título de “Engenheiro Agrônomo”.

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

Uberlândia – MG

ABRIL – 2019

MARIANA ALVES BORGES

Fosfatagem com fosfato aluminoso calcinado em área de cana-de-açúcar

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Curso de graduação em Agronomia, para obtenção do título de “Engenheiro Agrônomo”.

Uberlândia – MG, 8 de Abril de 2019

Banca Avaliadora

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
Orientador

MSc. Camila de Andrade Carvalho Gualberto
Membro da Banca

Dr. Gustavo Alves Santos
Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

A jornada até aqui foi bastante desafiadora, por isso, começo agradecendo à Deus por ter me tornado capaz de superar cada desafio, ter me dado a sabedoria e paciência necessária nas horas mais difíceis.

Dedico e agradeço aos meus familiares que sempre me apoiaram, em especial, minha mãe Lucila, por toda motivação, incentivo e amor incondicional. Mãe, obrigada por sempre acreditar em mim!

Agradeço aos meus amigos da 58ª Turma e os das demais turmas, pela amizade, o companheirismo, os momentos de distração e apoio essenciais para a minha trajetória durante o curso.

Ao GPSi – Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura, por todo aprendizado, amizade e apoio, em especial ao Gustavo e a Camila, por toda paciência e auxílio na confecção deste trabalho.

Ao professor Dr. Hamilton Seron Pereira, pela orientação e todos os ensinamentos.

Ao Instituto de Ciências Agrárias, aos docentes e técnicos por todo aprendizado.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para conclusão deste trabalho e realização deste sonho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Dentre os macronutrientes essenciais para a cultura da cana-de-açúcar, o fósforo é considerado o maior limitante da produção em grande parte dos solos brasileiros, sendo necessária a prática da adubação fosfatada. A fosfatagem consiste em uma adubação fosfatada corretiva que tem por objetivo aumentar o teor de fósforo no volume de solo a ser explorado pelas raízes da planta. Visando o aproveitamento dos recursos naturais utilizados nos processos convencionais de fabricação de fontes solúveis de fósforo, surgem os fosfatos aluminosos, que podem ser utilizados como fontes de fósforo na fosfatagem. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica do Fosfato aluminoso calcinado produzido a partir de fosfato de alumínio do grupo da crandallita, aplicado na fosfatagem, em área cultivada com cana-de-açúcar, além disso, determinar a importância da granulometria na eficiência do fosfato aluminoso calcinado e comparar esta fonte com outros fosfatos comerciais utilizadas em cana-de-açúcar. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com nove tratamentos e quatro repetições. Foram avaliadas quatro doses (50, 100, 150, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) do fosfato aluminoso calcinado granulado, duas doses (100, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅) do fosfato aluminoso calcinado farelado e para fins de comparação, uma dose (100 kg⁻¹ P₂O₅) de dois fosfatos comerciais (FN e FNR) e um tratamento controle sem a aplicação de fontes de fósforo. A aplicação de fosfato aluminoso calcinado granulado promoveu acréscimos de até 6,5 e 1,5 toneladas de colmos e de açúcar por hectare, respectivamente e aproximadamente 2,5 kg t⁻¹ de açúcar total recuperável, quando comparado ao tratamento controle. Maiores teores de P no solo foram obtidos com a maior dose do fosfato aluminoso calcinado granulado (200 kg ha⁻¹ de P₂O₅), bem como com os tratamentos fosfato 1 - FN (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e fosfato 2 - FNR (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Palavras Chave: Fósforo, fosfato de alumínio, crandallita, *saccharum officinarum*.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1.Importância do fósforo para a cana-de-açúcar.....	3
2.2.Dinâmica do fósforo no solo.....	4
2.3.Fosfatagem	5
2.4.Fosfato aluminoso calcinado	7
3.MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1.Caracterização dos produtos	9
3.2.Instalação do experimento	10
3.3.Avaliações.....	13
3.4.Análise estatística.....	14
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1.Número de perfilhos por metro linear (perfilhos m ⁻¹).....	15
4.2.Altura e diâmetro de colmos.....	16
4.3.Teores foliares de P, Ca e Mg.....	18
4.4.Teores de Ca, Mg e P no solo	20
4.5.Produktividades de colmos (TCH), açúcar (TAH) e qualidade da matéria prima (ATR).....	21
5.CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção estimada pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) da safra 2018/2019 de 635,51 milhões de toneladas, numa área de 8,66 milhões de hectares. O aumento da demanda mundial por etanol, oriundo de fontes renováveis, aliado às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar, tornam o Brasil um país promissor para a exportação dessa commodity (CONAB, 2018).

Dentre os macronutrientes essenciais para a cultura da cana-de-açúcar, o fósforo (P) é considerado o maior limitante da sua produção em grande parte dos solos brasileiros, sendo necessária a prática da adubação fosfatada (RAIJ, 1991). Devido à dinâmica do P no solo e o processo de fixação, grandes quantidades de adubos fosfatados devem ser fornecidas ao solo, no intuito de não haver deficiência do nutriente para a planta.

Contudo, mesmo sendo aplicadas grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, ainda assim, a maior parte do P adicionado ao solo fica indisponível às plantas, havendo recuperação pelas culturas de apenas 5 a 20% em um ano agrícola, onerando bastante os custos de produção (ARAÚJO; MACHADO, 2007).

Tradicionalmente, é grande o uso de fontes de P de elevada solubilidade objetivando o aumento da fertilidade do solo e acréscimos na produtividade das culturas. No entanto, o processo de fabricação desses fertilizantes requer o uso de rochas fosfáticas com baixa quantidade de impurezas metálicas como ferro e alumínio. Essa exigência tem levado as indústrias a descartarem quantidades elevadas de material fosfático (FRANCISCO et al., 2007).

Os fosfatos aluminosos entram no contexto de aproveitamento dos recursos naturais utilizados nos processos convencionais de fontes solúveis de P. A relação com os custos também chama a atenção, pois o Brasil é altamente dependente da importação de enxofre, matéria prima para a produção de ácido sulfúrico, este utilizado no processamento das fontes convencionais de P, que além de onerar os custos de fabricação das fontes solúveis, ainda torna a produção vulnerável pela necessidade de importação do enxofre (CARVALHO et al., 2001).

Segundo Gilkes; Palmer (1979), estes minerais apesar de apresentar baixa solubilidade em água, após tratamento térmico devido, à desestruturação cristalina têm sua solubilidade aumentada em citrato neutro de amônio mais água, método este que fundamenta-

se na extração do fósforo com água e citrato neutro de amônio a 65°C, seguida de precipitação do fósforo extraído como fosfomolibdato de quinolina, filtração, secagem e pesagem desse precipitado (BRASIL, 2014).

. Pesquisas agronômicas foram realizadas com fosfatos aluminosos do grupo da crandallita de reservas existentes no Brasil, mais especificamente no estado do Maranhão e após a calcinação deste mineral, foram observados resultados agronômicos satisfatórios (CÂMARA; RIBEIRO; FERNANDES, 1984; GUARDANI, 1987). Francisco (2006) destaca que a utilização de fontes de P menos solúveis tem papel estratégico ao visar a otimização do aproveitamento de recursos minerais, com potencial agronômico elevado.

Sendo assim, visando maximizar o aproveitamento de P pela planta, a utilização de compostos fosfáticos contendo impurezas catiônicas deve ser avaliada sob condições agronômicas específicas, como por exemplo, a utilização destes produtos na fosfatagem em culturas altamente produtivas.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agronômica do fosfato aluminoso calcinado produzido a partir de fosfato de alumínio do grupo da crandallita (Projeto Bonito - localizado no Pará) na fosfatagem em área a ser cultivada com cana-de-açúcar, bem como, determinar a importância da granulometria na eficiência do fosfato aluminoso calcinado e comparar esta fonte com outros fosfatos comerciais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Importância do fósforo para a cana-de-açúcar

O P é absorvido pela cana-de-açúcar em pequenas quantidades, se comparado com o nitrogênio e o potássio (KORNDÖRFER, 2004), entretanto, é grande a quantidade de P exigida por canaviais altamente produtivos, ou seja, manter a planta bem nutrida com P consiste em um fator primordial na obtenção de altas produtividades. Isto se deve ao fato de o P participar de processos metabólicos da planta e mesmo sendo móvel nos tecidos, estar concentrado nas áreas mais ativas de crescimento (STAUFFFER; SULEWSKI, 2004).

Nas plantas, o P é parte integrante de várias moléculas como fosfolipídios, coenzimas, nucleotídeos, ácido fítico, substratos metabólicos, além de ser parte estrutural do difosfato e trifosfato de adenosina (ADP e ATP). Este nutriente faz parte da formação de proteínas e está presente nos processos de absorção iônica, divisão celular, fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, transferência de gene, reprodução e fixação biológica de nitrogênio (ALEXANDER, 1973; NAHAS, 1991; MALAVOLTA et al., 1997; KORNDÖRFER, 2004). Além disso, a sacarose, matéria prima para a produção de açúcar e álcool é formada a partir do composto glucose-1-fosfato com a frutose (ALEXANDER, 1973).

Sendo assim, a falta de P pode causar distúrbios no metabolismo e desenvolvimento das plantas, os sintomas de deficiência na cana-de-açúcar aparecem inicialmente nas folhas mais velhas, ocorrendo folhas mais estreitas, curtas e com tom arroxeadado. Pode ocorrer drástica redução no perfilhamento, na altura das plantas e no diâmetro do colmo, além de encurtamento dos entrenós, raízes curtas e atrofiadas, acarretando assim, suprimento inadequado de água e nutrientes, gerando perdas de produtividade (ORLANDO FILHO, 1994; KORNDÖRFER, 2004).

Além disso, segundo Korndörfer (2004) a presença de P no caldo da cana exerce papel fundamental no processo de clarificação, ou seja, caldos que contêm teores baixos de P_2O_5 são de difícil floculação, fazendo com que a decantação das impurezas seja ruim, gerando caldo turvo e de coloração intensa que implica em açúcar de pior qualidade e menor valor comercial. O teor de P do solo pode afetar a concentração de P_2O_5 no caldo, quanto maior o teor de P extraível do solo, maior a quantidade de P_2O_5 no caldo (KORNDÖRFER, 1994).

2.2. Dinâmica do fósforo no solo

As plantas nutrem-se retirando o fósforo necessário para seu desenvolvimento na solução do solo, maior parte do P absorvido pelas plantas é como íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-) (LOPES, 1989). O P na solução do solo está em equilíbrio com o P da fase sólida, que se encontra em diferentes graus de solubilidade. De modo geral, os teores de P na solução dos solos brasileiros são muito baixos, além disso, estes solos têm alta capacidade de reter o P na fase sólida (SOUSA; LOBATO, 2004).

Já nas primeiras horas depois de aplicado ao solo o P sofre reações químicas com a fase mineral, resultando em formas pouco disponíveis às culturas. As formas químicas de P no solo podem estar distribuídas em cinco compartimentos: precipitado com ferro (Fe), alumínio (Al) ou cálcio (Ca) (fósforo precipitado); adsorvido pela superfície das argilas e dos óxidos de Fe e Al (fósforo adsorvido); em solução (fósforo solução); na forma orgânica (fósforo orgânico) ou fazendo parte dos compostos marcadamente insolúveis (fósforo mineralogicamente estável). Em quaisquer destes compartimentos, a depender do pH, o P ocorre nas formas iônicas H_2PO_4^- (fosfato diácido), $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ (fosfato monoácido) ou PO_4^{3-} (fosfato) (KAMPRATH, 1977, VOLKWEISS; RAIJ, 1977).

O pH é fator determinante na disponibilidade máxima de P, sendo recomendado pH ao redor de 6,5. Valores de pH mais baixos favorecem a formação de fosfatos de Fe e de Al de baixa solubilidade e valores mais altos levam a precipitação do P (solução) como fosfatos de cálcio de menor disponibilidade para as plantas. Além do pH, a quantidade e o tipo de minerais existentes na fração argila são determinantes na disponibilização de P (Malavolta et al., 1980). Assim, a indisponibilização de P pode ser tão mais intensa quanto mais intemperizado, ácido, argiloso e oxidado for o solo (EMBRAPA, 2007).

No solo a mobilidade do P é mínima, entretanto, os compartimentos que contêm P no solo interagem entre si e na medida do possível, a depender de vários fatores, como o poder tampão de P do solo, tendem a manter um equilíbrio. O P prontamente disponível para as plantas é chamado de “fósforo solução” ou fator intensidade. Os ânions H_2PO_4^- e $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ se movimentam por difusão da solução para a superfície das raízes das plantas, onde são absorvidos. Com a absorção deste P pelas plantas, há uma diminuição do “fósforo solução”, que é compensada pela aplicação de fontes de P ao solo, ou pela liberação de P da forma “fósforo lábil” ou fator quantidade. O restante do P pode entrar em equilíbrio com o “fósforo solução” de modo bem lento, sendo chamado de “fósforo não lábil” (NOVAIS et al., 2007).

A dinâmica do P no solo pode ser ilustrada através da figura abaixo (figura 1).

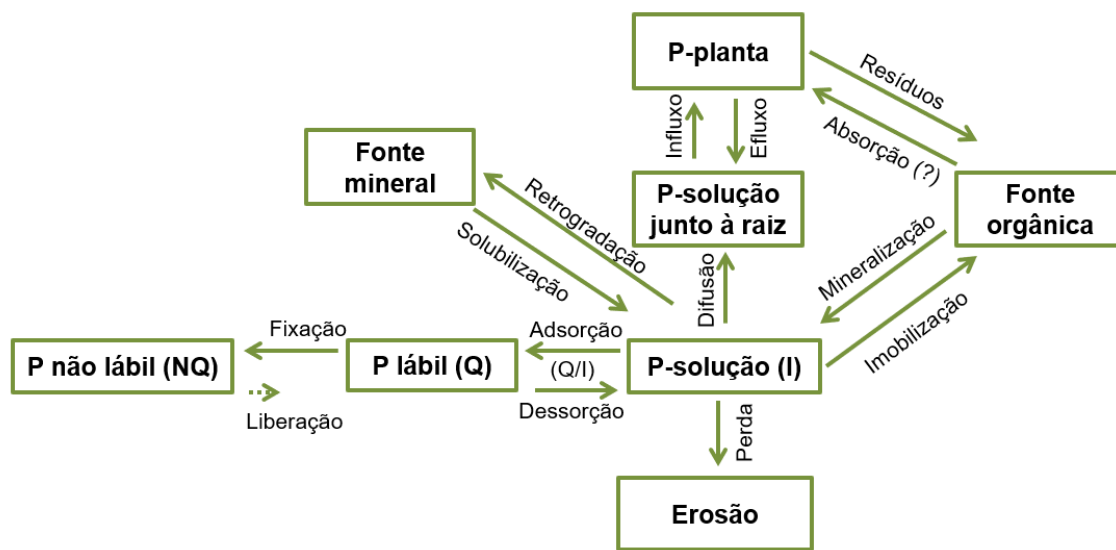


Figura 1. Esquema da dinâmica de P no solo. Adaptado de Novais e Smyth, 1999

2.3. Fosfatagem

De acordo com Rein et al. (2016), a adubação fosfatada da cana-de-açúcar é feita com altas doses de P aplicadas exclusivamente no plantio, sendo até 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 no fundo do sulco. A fosfatagem, embora recomendada, em geral, para as culturas no Cerrado, ainda não é prática de uso generalizado pelas usinas e produtores de cana-de-açúcar.

A fosfatagem consiste em uma adubação fosfatada corretiva a lanço, com incorporação (Rein et al., 2015), que tem por objetivo aumentar o teor de P no volume de solo a ser explorado pelas raízes da planta, aumentando, assim, a absorção de água e nutrientes e a resistência às pragas e doenças. O princípio da adubação corretiva é preencher o P da fase sólida (P não lábil + P lábil), de modo que permaneça mais P em solução quando a adubação localizada de manutenção for realizada (VITTI et al., 2004).

Trabalhos realizados no Brasil nos últimos 30 anos demonstram um aumento médio na produtividade de colmos da cana-planta de 17 t ha^{-1} , com a prática da fosfatagem, em diversas regiões e condições de solo (classe, textura, disponibilidade de P). Já com relação à cana-soca, o efeito residual da fosfatagem demonstra um aumento médio de $13 \text{ t ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ (REIS; CABALLA-ROSAND, 1986; MORELLI et al., 1987; MORELLI et al., 1991;

GAMA, 2007; TOMAZ, 2010; Caione et al., 2011; SOUSA; KORNDÖRFER, 2011; LISBOA, 2014; MENDONÇA et al., 2015).

Dois critérios são adotados para utilização da prática de fosfatagem, um deles é a fosfatagem em solos arenosos e o outro é fosfatagem pelos teores de P Melich 1. Segundo Vitti e Mazza (2002), o critério de fosfatagem em solos arenosos é adotado quando o teor de argila do solo é inferior ou igual a 25%, ou $CTC \leq 6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e o teor de P resina $< 15 \text{ mg dm}^{-3}$, nestes casos as quantidades de P_2O_5 a serem utilizadas devem seguir a relação de 5 kg de P_2O_5 para cada 1,0% de argila.

Já a fosfatagem pelos teores de P Melich 1 é uma prática recomendada por Sousa et al. (1997) quando o teor de P for “muito baixo” ou “baixo” de acordo com o teor de argila (Tabela 1). Nestes casos a fosfatagem pode ser feita em área total ou gradualmente no sulco de plantio, caso não haja possibilidade de se fazer correção de uma só vez. A fosfatagem gradual consiste na aplicação no sulco de plantio de uma dose superior à indicada para adubação de manutenção.

Tabela 1. Interpretação de análise de solo para P extraído pelo método Mehlich 1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de fosfatada em sistemas de sequeiro com culturas anuais. Fonte: SOUSA; LOBATO, 2004

Teor de Argila	Teor de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
%	----- mg dm ⁻³ -----				
≤ 15	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
16 a 35	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36 a 60	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0

Segundo Novais et al. (2007) as fontes utilizadas em fosfatagem corretiva, de modo geral, são fontes que apresentam menor solubilidade em água, como por exemplo, os fosfatos naturais, com a aplicação de 1 ou mais t ha⁻¹, sobre toda a área e incorporação com arado ou grade. Além disso, estas fontes geralmente encontram-se na forma de pó, isto porque, o tamanho das partículas é um fator que afeta a eficiência destes fertilizantes. Como os FNs têm baixa solubilidade em água quanto menor o tamanho da partícula, maior será o seu contato com o solo e conseqüentemente maior será a liberação de P (RAIJ, 1991).

2.4. Fosfato aluminoso calcinado

Segundo a Instrução Normativa nº46, de 22 de novembro de 2016 (Brasil, 2016) para ser considerado fosfato calcinado o produto deve ter como garantia mínima 18% de P_2O_5 total e no mínimo 14% de P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água (CNA+ H_2O), segundo metodologia do manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos (BRASIL, 2014). Além disso, sua obtenção deve ser por meio do processo de calcinação da rocha fosfática em temperaturas superiores a $650^{\circ}C$ e inferiores a $1000^{\circ}C$.

Na exploração da rocha fosfática, ocorre a liberação de íons ortofosfato, decorrentes da solubilização do material apatítico primário, estes íons reagem com demais íons formando assim minerais secundários como, por exemplo, crandallita, milisita, wavelita, dentre outros, conhecidos como fosfatos aluminosos, os quais contêm grande quantidade de alumínio e outros impurezas minerais e por isso são considerados impróprios para o processo de acidulação (HOARE, 1980).

Os fosfatos aluminosos começaram a ser comercializados no mundo como fertilizantes para aplicação direta no solo após o processamento térmico, chamado calcinação. Gilkes; Palmer (1979) desenvolveram um estudo detalhado do processo de calcinação dos fosfatos aluminosos (crandallita e milisita) encontrados em Christmas Island e constataram que o processo de calcinação aumentava a solubilidade daquele material em citrato neutro de amônio (CNA) para valores próximos de 90%, em relação ao teor total.

Câmara et al. (1984) afirmaram, por meio de experimentos com a cultura do milho, que o aquecimento dos fosfatos aluminosos resultou em um aumento de P_2O_5 solúvel e aumento na produção de matéria seca das plantas de milho em relação ao tratamento controle. Também Francisco (2006), ao avaliar a eficiência de fontes alternativas de P, concluiu que os fosfatos aluminosos, quando calcinados, podem aumentar a disponibilidade de P para o arroz, devido a algumas características como uma solubilidade mais lenta e a presença de nutrientes secundários. Este autor ainda destaca que em solos argilosos a eficiência de fosfatos calcinados para as plantas pode ser aumentada devido a reatividade com as argilas que podem produzir um efeito dreno ajudando a solubilizar o P do solo.

Segundo Francisco (2016), o processo térmico de calcinação usado em fosfatos aluminosos do grupo crandallita para solubilização do P parece ser a opção mais viável,

operacionalmente, pois o processo de acidulação por via úmida, utilizado para os fosfatos apatíticos apresenta como impedimento a solubilização concomitante do alumínio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização dos produtos

O fosfato aluminoso calcinado utilizado neste experimento possui 20% de P_2O_5 solúvel em $CNA+H_2O$, 4,1% de Ca e 1,1% de Mg. Este produto é produzido a partir da crandallita, um mineral de fórmula química: $CaAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot (H_2O)$, proveniente da região de Bonito, no Pará. O processo de produção deste fosfato inicia-se com a britagem e, posteriormente, o material passa por um pré-aquecimento, como o objetivo de reduzir a umidade.

Após o pré-aquecimento, o material passa pelo processo de calcinação, que envolve 3 etapas de aquecimento do material (temperaturas de 65° na 1ª etapa, 140° na 2ª etapa e 200° a 700°C na 3ª etapa) e tem o objetivo de converter o P_2O_5 indisponível em P_2O_5 disponível. Em seguida, o material passa pela moagem e pela granulação e, depois, pela classificação, sendo esta a última etapa do processo de produção do fosfato aluminoso calcinado. Neste experimento foram utilizadas duas granulometrias deste produto, granulada com grânulos de tamanhos maiores que 1,0 mm e menores que 4,0 mm e farelada, cujo tamanho dos grânulos é bem variável.

Além do fosfato aluminoso calcinado, foram utilizadas duas fontes fosfatadas convencionais para fins de comparação. A fonte intitulada como “fosfato 1” é um fosfato natural (FN), que segundo Horowitz; Meurer (2004), são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorridos em jazidas localizadas, que podem ou não passar por processos físicos de concentração para separá-los dos outros minerais com os quais estão misturados na jazida. O FN utilizado neste experimento, possui 7,1% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e 13% de Ca, é de origem sedimentar, extraído de fosforitas da Formação Sete Lagoas, porção basal do Grupo Bambuí, região de Campos Belos - GO e Arraias - TO (MONTEIRO, 2009).

Já a fonte intitulada “fosfato 2” é um fosfato natural reativo (FNR), o qual, segundo Horowitz; Meurer (2004), para ser considerado reativo, deve possuir pelo menos 28% de P_2O_5 total e 9% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. O FNR utilizado, possui 14% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100 e 32% de Ca, ele tem origem sedimentar e orgânica, é formado pela deposição e posterior decomposição de restos de

animais marinhos, sendo proveniente da região de Bayóvar (Sechura) no Peru (CHAGAS, 2014).

3.2. Instalação do experimento

O experimento foi instalado em área de produção comercial de cana-de-açúcar localizada na Fazenda Cachoeira, talhão 23 da Usina Açucareira Guaíra, município de Guaíra, São Paulo. Para as recomendações de doses das fontes foram utilizados os teores de P_2O_5 solúvel das mesmas. Os produtos e as doses utilizadas estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Tipos de fontes, doses de P_2O_5 , doses das fontes e granulometrias utilizadas em cada tratamento.

Dose de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Fonte de P_2O_5	Dose do Produto (kg ha ⁻¹)	Granulometria
0	Testemunha		---
50	Fosfato aluminoso calcinado	250	Granulado
100	Fosfato aluminoso calcinado	500	Granulado
150	Fosfato aluminoso calcinado	750	Granulado
200	Fosfato aluminoso calcinado	1000	Granulado
100	Fosfato aluminoso calcinado	500	Farelado
150	Fosfato aluminoso calcinado	750	Farelado
100	Fosfato 1	1408	Pó
100	Fosfato 2	714	Pó

Antes da instalação do experimento foram coletas amostras na profundidade de 0 á 20 cm, cujas caracterizações físicas e químicas estão apresentadas nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2. Caracterização física do solo. da área de instalação do experimento na profundidade de 0-20 cm (Us, Guaíra, Fazenda Cachoeira, talhão 23, Guaíra - SP, 2017).

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
----- % -----			
5,0	8,2	33,3	53,4

Análise textural pelo Método da Pipeta (POVOAS; BARRAL, 1992) realizada no LAMAS/ICIAG/UFU.

Tabela 3. Caracterização química do solo da área de instalação do experimento na profundidade de 0-20 cm (Us, Guaíra, Fazenda Cachoeira, talhão 23, Guaíra - SP, 2017).

pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	t	T	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MO
	---- mg dm ⁻³ ----			----- cmol _c dm ⁻³ -----				%	-----mg dm ⁻³ -----					dag dm ⁻³	
5,7	2,7	114	22	3,6	1,1	0,0	4,9	6,9	71	0,6	7,9	42	33	1,0	3,0

pH: H₂O; P e K: (Mehlich⁻¹); Al, Ca, Mg: (KCl 1 mol L⁻¹); T: CTC potencial; t : CTC efetiva; V: saturação por bases; Cu, Fe, Mn e Zn: DTPA; MO: K₂Cr₂O₇ (SILVA, 2009).

Considerando o teor de argila no solo (tabela 2), o teor de P segundo Sousa; Lobato (2004) é “baixo” (tabela 1), neste caso, segundo Sousa et al. (1997), a fosfatagem é uma prática recomendada. O pH é fator determinante na disponibilidade máxima de P, sendo recomendado pH ao redor de 6,5 (EMBRAPA, 2007), neste sentido o pH do solo em análise apresenta-se um pouco abaixo deste valor recomendado, sendo viável para a dissolução dos fosfatos naturais, onde a velocidade de dissolução é inversamente proporcional ao pH do solo (HOROWITZ; MEURER, 2004).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando vinte e oito parcelas experimentais. Foram avaliadas quatro doses do fosfato aluminoso calcinado granulado, duas doses do fosfato aluminoso calcinado farelado, bem como para fins de comparação, uma dose de dois fosfatos convencionais (Fosfato 1 - fosfato natural reativo e Fosfato 2 – fosfato natural) e um tratamento controle sem a aplicação de fontes de P.

As parcelas experimentais foram constituídas por 5 linhas de cana-de-açúcar com 15 m de comprimento e espaçadas 1,5 m entre si, totalizando 112,5 m². Entre as parcelas, foram formados corredores de 3 m de comprimento, sem plantio de mudas (figura 1A), bem como uma linha de cana-de-açúcar foi desconsiderada entre os blocos (figura 1B) a fim de reduzir eventuais problemas de contaminação resultantes da operação de gradagem para a incorporação dos tratamentos.

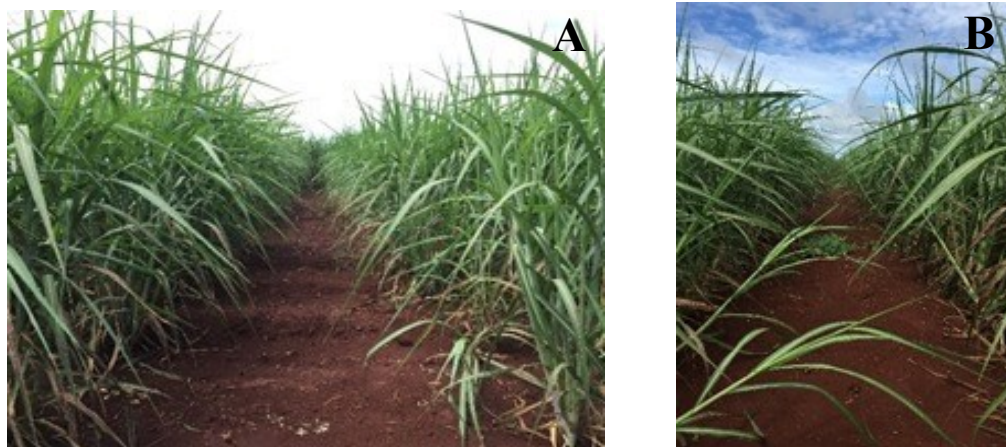


Figura 1. Corredor de 3 m entre as parcelas (A); linha sem cana entre os blocos (B). Fonte: GPSI, 2017.

Os tratamentos foram aplicados manualmente á lanço, no dia 24 de março de 2017 em toda a área da parcela, após o preparo do solo (operação de gradagem) e antes da sulcação e plantio da cana-de-açúcar (figura 2A). A incorporação dos fertilizantes foi feita com grade intermediária na mesma data da instalação. Com exceção aos tratamentos com Fosfato aluminoso calcinado Farelado que foram aplicados á lanço e manualmente no dia 07 de novembro de 2018 (figura 2B) e incorporados com a operação de “quebra-lombo”, isto devido à um atraso na chegada do fertilizante para utilização no experimento.

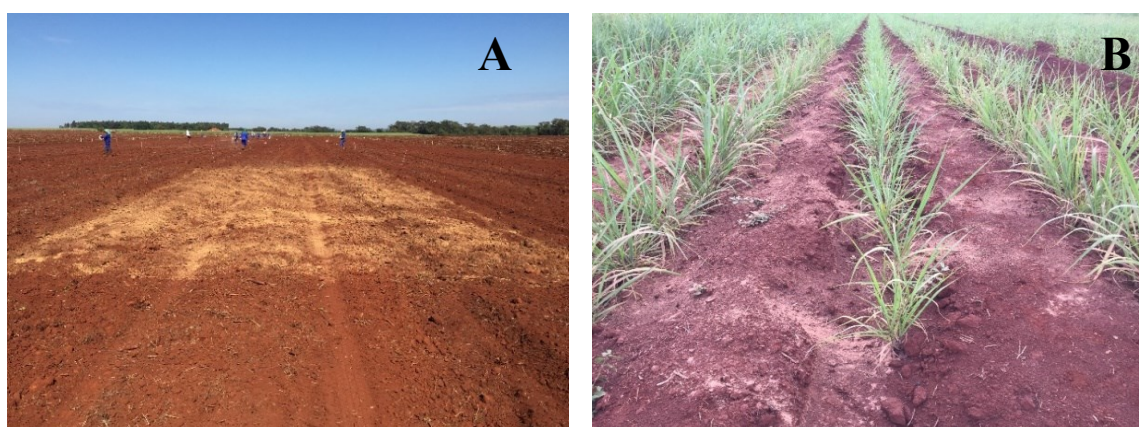


Figura 2. Aplicação manual dos fertilizantes na área da parcela – 75 m² (A); Fosfato aluminoso calcinado farelado aplicado em área total da parcela, após o plantio da cana e antes da operação de quebra-lombo (B). Fonte: GPSI, 2017.

O plantio das mudas pré-brotadas (MPB) da variedade CTC 9003 foi realizado no dia 23 de maio de 2017, ou seja, 60 dias após a aplicação dos fertilizantes. Para o plantio utilizou-se espaçamento de 1,5 m entre linhas e de 0,5 m entre plantas.

3.3. Avaliações

Aos 259 dias após o plantio da cana-de-açúcar (DAP), realizou-se a contagem dos perfilhos existentes ao longo dos quinze metros das três linhas centrais de cada parcela. O número de perfilhos por metro linear foi obtido através da relação entre o número total de perfilhos obtidos na contagem pelo total de metros lineares avaliados. Nesta mesma data, foram coletadas duas folhas TVD (Top Visible Dewlap) de cada uma das cinco linhas da parcela (dez folhas por parcela) para envio ao laboratório para as análises de P, Ca e Mg seguindo metodologia proposta por Donagema et al. (2011).

A colheita foi realizada manualmente aos 408 DAP, sendo realizado o corte das três linhas centrais de cada parcela, totalizando 45 m lineares por parcela (figura 3A). A cana colhida destas linhas foi despontada e teve o excesso de palha retirado. Em seguida, realizou-se a pesagem da cana colhida com o auxílio de uma balança acoplada a uma carregadeira (figura 3B), deste modo foi obtida a produtividade de colmos (TCH) que posteriormente foi convertida para $t\ ha^{-1}$.

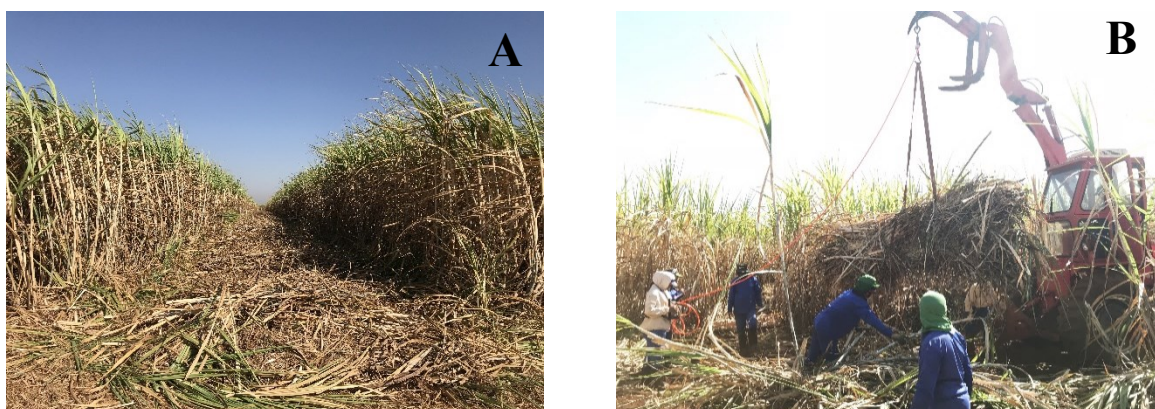


Figura 3. Três linhas centrais da parcela cortadas para pesagem (A); pesagem da cana cortada com balança acoplada à carregadeira (B). Fonte: GPSI, 2018.

Na ocasião da colheita, após a pesagem das canas de cada parcela, foram amostrados, aleatoriamente, dez colmos, os quais foram enviados ao laboratório da Usina Açucareira

Guaira para análise do açúcar total recuperável (ATR). De posse dos resultados de ATR e TCH, estimou-se a produtividade de açúcar (TAH). Uma segunda amostragem aleatória foi realizada entre os colmos cortados, desta vez, foram amostrados cinco colmos, os quais foram medidos quanto ao seu comprimento (altura) e diâmetro (figura 4). Para essas avaliações, foram utilizadas trena e paquímetro, respectivamente, sendo o comprimento medido do ápice despontado á base do colmo e o diâmetro tomado no 6º nó contado da base para o ápice do colmo.



Figura 4. Medição do comprimento (A) e diâmetro (B) de colmos da cana-de-açúcar. Fonte: GPSI, 2018.

Na data da colheita foram coletadas seis amostras de solo por parcela, sendo duas amostras em cada uma das três linhas centrais, coletadas a aproximadamente 20 cm da linha de plantio e na camada de 0 à 20 cm para análises de Ca, Mg e P (resina), seguindo metodologia proposta por Donagema et al. (2011).

3.4. Análise estatística

Após as avaliações as médias dos tratamentos foram submetidas à análise de variância utilizando-se o programa SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014). Em seguida, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 0,10 de significância, bem como análise de regressão a 0,10 de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Número de perfilhos por metro linear (perfilhos m⁻¹)

Não foram observadas diferenças no perfilhamento da cana com aplicação dos diferentes tratamentos (Tabela 4). Entretanto, deve-se ressaltar que acréscimos de até 0,8 perfilhos m⁻¹ foram obtidos com a utilização do fosfato aluminoso calcinado granulado quando comparado ao tratamento testemunha, especialmente quando a maior dose do produto foi utilizada (200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) (Tabela 4).

Além disso, não foi obtido modelo de regressão significativo que demonstre o efeito do aumento das doses de fosfato aluminoso calcinado granulado no número de perfilhos por metro linear.

Tabela 4. Número de perfilhos por metro linear (variedade CTC 9003, 1º corte, faz. Cachoeira, talhão 23, usina Guaíra, Guaíra - SP) em função da aplicação de diferentes fosfatos em pré-plantio (contagem em fevereiro/2018, aos 259 dias após o plantio).

Fonte	Granulometria	Dose de P ₂ O ₅	Perfilhos
		kg ha ⁻¹	perfilhos m ⁻¹
Testemunha	---	0	21,1 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	50	21,3 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	100	21,4 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	150	21,5 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	200	21,9 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	100	21,7 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	150	19,7 a
Fosfato 1	Pó	100	20,7 a
Fosfato 2	Pó	100	21,4 a
Média			21,2
CV (%)	5,8		

Médias seguidas por letras distintas são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Segundo Manhães et al. (2015), dentre os elementos minerais, os mais importantes para o perfilhamento são o N e o P. Para Silva et al. (2008) a nutrição equilibrada, a umidade do solo e a variedade são fatores a serem considerados no que diz respeito a interferências no perfilhamento da cana-de-açúcar. Sendo assim, o fator umidade pode ter interferido nos resultados de perfilhamento obtidos, pois segundo Diola e Santos (2010), o perfilhamento inicia-se aos 40 DAP e pode durar até 120 dias, se observarmos a figura 5, a precipitação

pluviométrica na região foi muito baixa neste período de perfilhamento (junho/2017 á setembro/2017).

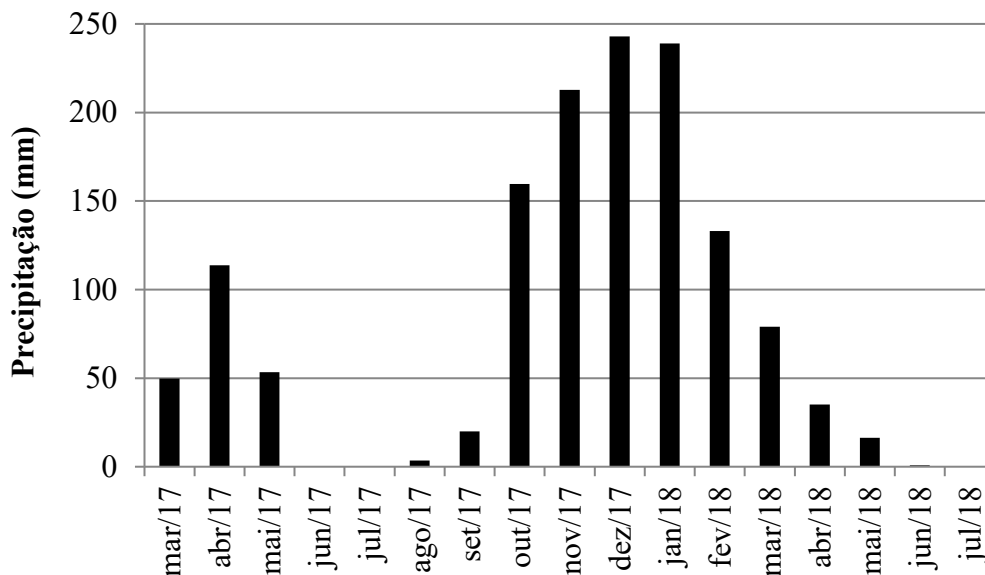


Figura 5. Precipitação pluviométrica de Guairá – SP no período entre Março de 2017 e Julho de 2018. Fonte: CIIAGRO online.

Santos et al. (2009), ao avaliar fontes de P, como neste trabalho, também não obtiveram diferença significativa sobre o perfilhamento de cana planta. Pasuch et al. (2012), avaliando o efeito residual de diferentes fontes de P aplicadas no plantio da cana, também verificaram que não houve influência da aplicação de P no número de perfilhos por linha da parcela. Entretanto, Korndörfer e Alcarde (1992) obtiveram resultados diferentes dos obtidos neste trabalho, estudando o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento da cana-de-açúcar, constataram que o P proporcionou aumento no perfilhamento.

4.2. Altura e diâmetro de colmos

A aplicação dos diferentes fosfatos em pré-plantio resultou em acréscimos na altura dos colmos da cana-de-açúcar em relação à testemunha (Tabela 5). Foram observados acréscimos de 20 cm com a aplicação do fosfato aluminoso calcinado, em ambas granulometrias. Com relação ao diâmetro de colmos, os tratamentos com fosfato aluminoso calcinado farelado em ambas as doses (100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e Fosfato aluminoso

calcinado granulado, na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, se mostraram mais eficientes em aumentar o diâmetro de colmos, com acréscimos de até 4 mm (Tabela 5).

Tabela 5. Altura de plantas (m) e diâmetro de colmos (mm) de cana-de-açúcar (variedade CTC 9003, 1º corte) em função da aplicação de diferentes fosfatos em pré-plantio (Faz. Cachoeira, talhão 23, usina Guaira, Guaira - SP - colheita em julho/18, aos 408 DAP).

Fonte	Granulometria	Dose de P ₂ O ₅	Altura	Diâmetro
		kg ha ⁻¹	m	mm
Testemunha	---	0	2,7 c	25,9 c
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	50	2,8 b	26,2 c
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	100	2,9 a	28,2 b
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	150	2,9 a	29,9 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	200	2,9 a	28,1 b
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	100	2,9 a	29,8 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	150	2,9 a	29,4 a
Fosfato 1	Pó	100	2,8 b	26,0 c
Fosfato 2	Pó	100	2,9 a	26,8 c
Média			2,9	27,8

Altura - CV (%): 2,3 ; Diâmetro - CV (%): 3,6.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, Caione (2011), avaliando fontes de P aplicadas em sulco de plantio em cana planta, observou melhores resultados para altura de plantas de cana-de-açúcar entre as fontes (farinha de ossos, superfosfato triplo e fosfato de Arad) em relação ao tratamento controle. Também, Sousa (2011) avaliando diferentes fosfatos em pré-plantio constatou que a altura das plantas de cana-de-açúcar aumentou com a aplicação de termofosfato magnésiano e superfosfato triplo. Entretanto Factor (2008) e Pasuch et al. (2012) não constataram diferença significativa na altura de plantas entre os tratamentos com fontes de P e a testemunha.

Costa et al. (2015), avaliando a eficiência do uso de termofosfatos de Al como fonte de P na produção de feijão em solo incubado, verificaram maiores valores de diâmetro basal da haste do feijoeiro e altura de plantas nos tratamentos com termofosfato de Al em pó, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho. Contudo, Pasuch et al. (2012), ao avaliarem o diâmetro de colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar, observaram que o diâmetro não variou em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados e doses de P₂O₅.

A utilização de doses crescentes de fosfato aluminoso calcinado granulado resultou em acréscimos lineares nos valores de altura de plantas de cana-de-açúcar, sendo que, a cada 100

kg ha⁻¹ de P₂O₅ adicionados através desta fonte, acréscimos de 10 cm são obtidos (Figura 6A). Por outro lado, modelo polinomial quadrático foi obtido quanto ao diâmetro de colmos, cujos maiores valores seriam obtidos com a utilização desta fonte na dose de 159 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (ponto máximo da curva) (Figura 6B).

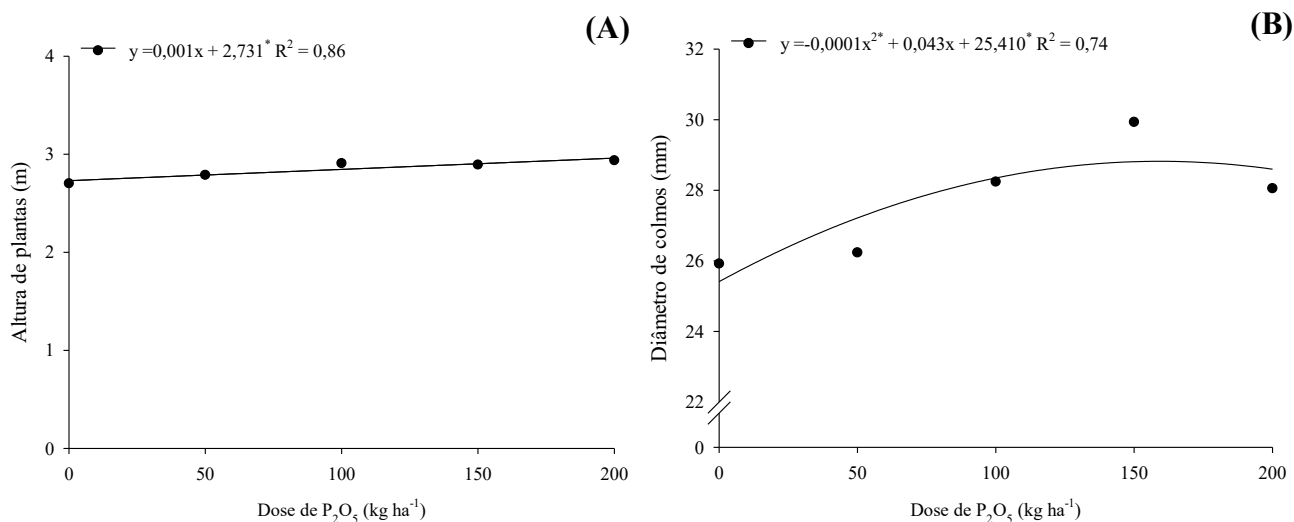


Figura 6. Altura de plantas (A) e diâmetro de colmos (B) da cana-de-açúcar em função da aplicação de doses crescentes do fosfato aluminoso calcinado granulado em pré-plantio (variedade CTC 9003, 1º corte, Faz. Cachoeira, talhão 23, usina Guaira, Guaira - SP - colheita em julho/18, aos 408 DAP)

Brasil et al. (2015), avaliando a eficiência agrônômica do termofosfato de Al em milho, observaram que este obteve menores resultados em alturas de plantas se comparado ao superfosfato triplo e fosfato reativo, porém, independentemente da fonte utilizada as plantas apresentaram um crescimento linear, em resposta à aplicação de doses crescentes de P, assim como observado neste trabalho. Corroborando com Bezerra (2014), que avaliando fontes de P e substâncias húmicas em cultivo de cana-de-açúcar em casa de vegetação, constatou incremento no diâmetro de colmos com o aumento das doses de P.

4.3. Teores foliares de P, Ca e Mg

A aplicação de diferentes fosfatos não resultou em diferenças nos teores de P e Ca em folhas de cana-de-açúcar (Tabela 6). Entretanto, nota-se que, quando comparado ao tratamento testemunha, o fosfato aluminoso calcinado promoveu acréscimos de até 0,2 e 0,5 g kg⁻¹ de P e Ca, respectivamente. Quanto ao Mg, teores superiores ao tratamento testemunha foram obtidos com a aplicação do fosfato aluminoso calcinado, independentemente da dose e da granulometria utilizada, com acréscimos de até 0,2 g kg⁻¹.

Não foram obtidos modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das diferentes doses do fosfato aluminoso calcinado granulado nos teores foliares de P, Ca e Mg.

Tabela 6. Teores de P, Ca e Mg em folhas de cana-de-açúcar, (variedade CTC 9003, 1º corte, faz. Cachoeira, talhão 23, usina Guaira, Guaira - SP) em função da aplicação de diferentes fosfatos em pré-plantio (coleta em fevereiro/2018, aos 259 dias após o plantio).

Fonte	Granulometria	Dose de P ₂ O ₅	P	Ca	Mg
		kg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----		
Testemunha	---	0	1,8 a	3,8 a	1,7 b
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	50	2,0 a	3,9 a	1,9 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	100	1,9 a	4,3 a	1,8 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	150	1,9 a	4,1 a	1,8 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	200	1,9 a	4,1 a	1,8 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	100	1,9 a	4,1 a	1,9 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	150	2,0 a	4,2 a	1,9 a
Fosfato 1	Pó	100	1,9 a	4,0 a	1,7 b
Fosfato 2	Pó	100	1,9 a	3,8 a	1,7 b
Média			1,9	4,0	1,8

P – CV (%): 3,7; Ca – CV (%): 11,8; Mg – CV (%): 4,8.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Segundo Raij (1996), os teores foliares adequados de P foliar para cana-de-açúcar estão entre 1,5 e 3,0 g kg⁻¹, de Ca entre 2,0 e 8,0 g kg⁻¹ e de Mg entre 1,0 e 3,0 g kg⁻¹, deste modo os teores foliares encontrados foram adequados.

Sousa (2011), avaliando diferentes fertilizantes fosfatados (MAP, SPT e Termofosfato Magnésiano) aplicados no pré-plantio, em cana planta, observou que a aplicação destes acarretou aumento no teor foliar de P em relação à testemunha, podemos observar que neste trabalho, mesmo não ocorrendo diferenças, há um acréscimo de pelo menos 0,1 g kg⁻¹ de P nos tratamentos com fontes de P em relação à testemunha.

A ausência de diferenças nos teores de P e Ca foliar pode ser consequência do efeito diluição, com redistribuição destes nutrientes, pois como observado na tabela 5 todos os tratamentos foram superiores à testemunha em relação à altura de plantas. Esse efeito é caracterizado, segundo Maia et al. (2005), quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente. Ainda com relação ao P, não foi realizada análise do caldo da cana, sendo que, parte deste P pode ter se acumulado no interior do colmo, assim estando presente em baixas quantidades nas folhas. Moura Filho (2006), ao estudar extração de macronutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar, obteve

resultados decrescentes de conteúdo de P nas partes da planta na seguinte ordem: colmos > ponteiros > folhas > folhas senescentes.

4.4. Teores de Ca, Mg e P no solo

A aplicação dos diferentes tratamentos não influenciou nos teores de Ca e Mg no solo (Tabela 7). Entretanto, ressalta-se que, quando comparado ao tratamento testemunha, acréscimos de aproximadamente $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca foram obtidos com a aplicação do fosfato aluminoso calcinado granulado.

Quanto ao P no solo, maiores teores foram obtidos com a maior dose do fosfato aluminoso calcinado Granulado (200 kg ha^{-1} de P_2O_5), bem como com os tratamentos fosfato 1 e fosfato 2 (Tabela 7).

Não foi obtido modelo de regressão significativo que demonstre o efeito das diferentes doses do fosfato aluminoso calcinado granulado nos teores de nutrientes no solo.

Tabela 7. Teores de P (resina), Ca e Mg no solo em função da aplicação de diferentes fosfatos em pré-plantio (Faz. Cachoeira, talhão 23, usina Guaíra, Guaíra-SP, aos 240 dias após a aplicação do farelado e aos 468 dias após a aplicação dos demais fosfatos).

Fonte	Granulometria	Dose de	P Resina	Ca	Mg
		P_2O_5			
		kg ha^{-1}	mg dm^{-3}	$\text{--cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{--}$	
Testemunha	---	0	1,2 b	5,3 a	1,0 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	50	0,8 b	5,7 a	1,0 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	100	1,0 b	5,7 a	1,1 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	150	1,4 b	5,8 a	1,1 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	200	2,1 a	6,0 a	1,0 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	100	1,5 b	5,5 a	1,0 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	150	1,4 b	5,8 a	1,1 a
Fosfato 1	Pó	100	2,5 a	5,5 a	1,0 a
Fosfato 2	Pó	100	2,2 a	5,6 a	1,0 a
Média			1,6	5,6	1,0

P – CV (%): 29,1; Ca – CV (%): 7,2; Mg – CV (%): 12,2.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Segundo a tabela 7, o teor de Mg no solo, pode ser classificado como “alto” ($> 0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o de P resina “muito baixo” ($< 6 \text{ mg dm}^{-3}$), segundo Raij et al. (1997). Já o teor de Ca, segundo Ribeiro et al. (1999), pode ser classificado como “muito bom” ($> 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 7).

Encontrar teores baixos de nutrientes após a colheita pode não ser negativo, caso a produtividade seja positiva, pois sugere que a planta absorveu e utilizou o nutriente que foi

aplicado, por outro lado, há outra hipótese, que grande parte deste nutriente se tornou indisponível, devido, por exemplo, ao fenômeno de fixação. Entretanto, a fosfatagem é uma adubação corretiva, neste caso, o objetivo é elevar o teor de P no solo a níveis adequados, para posteriormente serem feitas adubações de manutenção para repor o P extraído pela cultura. Neste sentido, pode-se observar que neste trabalho este objetivo não foi alcançado, uma das explicações pode estar associada às características de solubilidade das fontes utilizadas, o que sugere que em anos posteriores (socas) estes teores de P no solo podem ser modificados devido ao efeito residual das fontes.

Stefanutti et al. (1995), ao avaliarem a aplicação de superfosfato simples granulado e termofosfato magnésiano em pó, grosso e granulado após 7 cultivos consecutivos de milho em vasos, observaram que o termofosfato magnésiano grosso e granulado na maior dose (300 kg ha⁻¹ de P₂O₅) resultaram em maiores teores de Ca no solo, enquanto que as fontes granuladas na maior dose promoveram maiores teores de P (resina) e não houveram diferenças nos teores de Mg no solo. Os resultados deste trabalho expressam, em partes, os mesmos resultados, mesmo não havendo diferenças, pode-se notar um acréscimo nos teores de Ca nas maiores granulometrias, além disso, não houve diferenças nos teores de Mg. Entretanto, para os teores de P resina, os resultados deste trabalho diferem do estudo de Stefanutti et al. (1995), pois os maiores teores de P resina foram encontrados na maior dose do fosfato aluminoso calcinado granulado e nos tratamentos com os fosfatos 1 e 2 em pó.

4.5. Produtividades de colmos (TCH), açúcar (TAH) e qualidade da matéria prima (ATR)

Com relação à produtividade de colmos de cana-de-açúcar não foi observada diferença entre os tratamentos. Entretanto a aplicação do fosfato aluminoso calcinado granulado promoveu acréscimos de até 6,5 e 1,5 toneladas de colmos e de açúcar por hectare, respectivamente, quando comparado ao tratamento controle, especialmente quando aplicado na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 8).

Resultado semelhante foi obtido quanto ao açúcar total recuperável (ATR), uma vez que, apesar de não obtidas diferenças significativas, acréscimos de até aproximadamente 2,5 kg t⁻¹ foram obtidos com as maiores doses de fosfato aluminoso calcinado granulado (Tabela 8).

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito do aumento das doses de fosfato aluminoso calcinado granulado na produtividade e na qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar.

Tabela 8. Produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TAH) e açúcar total recuperável (ATR) da cana-de-açúcar (variedade CTC 9003, 1º corte) em função da aplicação de diferentes fosfatos em pré-plantio (Faz. Cachoeira, talhão 23, usina Guaíra, Guaíra - SP – colheita em julho/18, aos 408 DAP).

Fonte	Granulometria	Dose de P ₂ O ₅	TCH	TAH	ATR
		kg ha ⁻¹	----- t ha ⁻¹ -----	----- t ha ⁻¹ -----	kg t ⁻¹
Testemunha	---	0	130,2 a	21,5 a	165,2 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	50	133,2 a	22,1 a	166,1 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	100	136,0 a	22,6 a	166,3 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	150	136,7 a	22,9 a	167,3 a
Fosfato aluminoso calcinado	Granulado	200	131,4 a	22,0 a	167,7 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	100	127,5 a	21,3 a	166,9 a
Fosfato aluminoso calcinado	Farelado	150	132,6 a	22,1 a	166,7 a
Fosfato 1	Pó	100	125,7 a	20,9 a	165,8 a
Fosfato 2	Pó	100	134,0 a	22,3 a	166,4 a
Média			131,9	22,0	166,5

TCH: CV (%): 5,0; TAH: CV (%): 4,7; ATR: CV (%): 1,6.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Sousa (2001), avaliando diferentes fosfatos em pré-plantio da cana-de-açúcar constatou que a aplicação de termofosfato magnésiano resultou em uma produtividade de 14,9 t ha⁻¹ maior se comparada à testemunha. Acréscimos na produtividade de colmos também são observados neste trabalho, onde o tratamento com fosfato aluminoso calcinado granulado resultou em uma produtividade de 6,5 t ha⁻¹ a mais se comparado à testemunha.

Rein et al. (2015), avaliando o efeito da fosfatagem no cultivo de cana-de-açúcar, em solos brasileiros, observaram que a aplicação total do fertilizante a lanço resultou em acréscimos de aproximadamente 10 t e 8 t de colmos por hectare, para cana-planta e cana-soca, respectivamente, em comparação à aplicação de P somente no sulco de plantio. O acréscimo em produtividade de colmos neste trabalho, provavelmente se dá pelas consequências da fosfatagem, que segundo Vitti et al. (2006), são: maiores volumes de P em contato com o solo, maior volume de solo explorado pelas raízes, resultando em maior absorção de água e nutrientes, além de uma melhor convivência com pragas de solo, todos estes fatores têm como consequência o aumento da produtividade.

Costa et al. (2015), avaliando a eficiência do uso de termofosfato de Al como fonte de P na produção de feijão verificaram que para os componentes de produtividade (número de

vagens/vaso; número de grãos/vaso; grãos por vagem; peso de grãos/vaso) o termofosfato de Al não apresentou diferença significativa em relação ao TSP, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho, onde não foram encontradas diferenças significativas entre a produtividade dos tratamentos com fosfato aluminoso calcinado e às demais fontes.

Sousa (2011), ao avaliar diferentes fosfatos em pré-plantio, constatou que a produtividade da cana planta não foi influenciada pela aplicação dos diferentes fosfatos no 1º corte, apesar disto, assim como neste trabalho, os tratamentos que apresentaram maior produtividade foram os mesmos que apresentaram maiores alturas de plantas.

De acordo com Rein et al. (2015), a adubação fosfatada, em geral, não afeta significativamente a qualidade tecnológica da cana com relação ao teor de açúcar (ATR). Assim, o ganho em resposta à essa adubação é determinado pelo aumento na produtividade de colmos, que gera maiores valores de TAH. Sendo assim, a ausência de diferenças em TAH pode ser justificada pela ausência de diferenças na produtividade (TCH) e no ATR entre os tratamentos.

Entretanto, Costa (2012), avaliando a adubação fosfatada na cana-de-açúcar (variedade RB92579) em 3 classes texturais e utilizando TSP em 6 doses distintas no plantio (0,40,80,120,160 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅), observou que a adubação fosfatada ocasionou aumentos expressivos nos valores de ATR (até 49 kg t⁻¹ a mais – textura argilosa).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fosfato aluminoso calcinado, em sua forma granulada, mostrou-se competitivo para a realização da fosfatagem em área de cana-de-açúcar e até superior às demais fontes testadas.

Dessa forma, maiores teores de P no solo foram obtidos com a aplicação da maior dose do fosfato aluminoso calcinado granulado (200 kg ha⁻¹ de P₂O₅), bem como com os tratamentos fosfato 1 (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e fosfato 2 (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Além disso, maiores teores de Mg foliar foram, obtidos com a utilização do fosfato aluminoso. Ressalta-se ainda que todos os tratamentos com fontes de P foram superiores à testemunha em relação à altura de plantas e, quanto ao diâmetro de colmos, melhores resultados foram observados nos tratamentos com fosfato aluminoso calcinado granulado, na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e com o fosfato aluminoso calcinado farelado em ambas a doses (100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅). É importante salientar que este experimento ainda está em andamento e que serão feitas avaliações nos cortes posteriores.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, A. G. et al. **Sugarcane physiology: a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system.** Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa: SBCS, 2007. p. 253-280.

BEZERRA, P. S. S. **Substâncias húmicas e fontes de fósforo: teor de fósforo disponível em solos e absorção pela cana-de-açúcar.** 2014, 76f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2014.

BRAITHWAITE, A. C.; EATON, A. C.; GROOM, P. S. **Factors affecting the solubility of phosphate rock residues in 2% citric acid and 2% formic acid.** Fertilizer research, v. 23, n. 1, p. 37-42, 1990.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 46 de 22 de novembro de 2016.** Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. Brasília, 2016.

BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos.** Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília : MAPA/ SDA/CGAL, 2014. 220 p.

BRASIL, E. C., CEKINSKI, E., DOS SANTOS, D. G., DANTAS, R. C. R., & DA HUNGRIA, L. C. **Eficiência agrônômica de termofosfato de alumínio obtido a partir da mistura de fosfato de alumínio e escória de siderurgia.** In Embrapa Amazônia Oriental- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35. 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

CAIONE, G. **Avaliação de fontes de fósforo no desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica de cana-de-açúcar.** 2011, 74 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2011.

CAIONE, G. et al. **Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em Latossolo VermelhoAmarelo.** Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2011.

CÂMARA, L. M. J. R.; RIBEIRO, J.F.; FERNANDES, M. S. **Efeito da calcinação na eficiência de fosfatos de alumínio como fertilizante.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 8, p. 345-347, 1984.

CARVALHO, R. et al. **Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa-de-vegetação.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 3, p. 557-565, 2001.

CHAGAS, W. F. T. **Eficiência agrônômica do fosfato reativo de Bayóvar associado ou não à calagem no cultivo do capim-piatã.** 2014, 79 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

DONAGEMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análise de solo.** Embrapa Solos- Documentos (INFOTECA-E), 2011.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 32p.

FACTUR, V. D. **Fontes de fósforo associadas á adubação orgânica no plantio da cana-de-açúcar.** 2008, 27 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente – SP. 2008.

FRANCISCO, E. A. B. **Fosfatos Aluminosos do grupo da Crandallita como Fonte Alternativa de Fósforo para a Cultura do Arroz.** Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 145 p. 2006

FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L.I.; TOLEDO, M. C. M. de; FERRARI, V. C.; JESUS, S. L. de. **Thermal treatment of aluminous phosphates of the crandallite group and its effect on phosphorus solubility.** Scientia. Agricola, v. 64, n.3, p. 269-274, 2007.

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

GILKES, R. J.; PALMER, B. **Calcined Christmas Island C-grade rock phosphate fertilizers: mineralogical properties, reversion and assessment by chemical extraction**. Soil Research, v. 17, n. 3, p. 467-481, 1979.

GUARDANI, R. **Transformações térmicas e solubilidade de fosfatos de alumínio dos estados do Pará e Maranhão**. Fertilizantes, São Paulo, v. 9, n. 2, p.6-10, 1987.

HOARE, J. **Phosphate raw materials and fertilizers: Part II – A case history of marginal raw materials**. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E.J. The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980p. 121-128.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica de fosfatos naturais. In: FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Piracicaba, 2004. **Anais...** São Pedro: POTAFOS, 2003, p. 665-682.

KAMPRATH, E.J. Phosphorus fixation and availability in weathered soils. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4, 1976, Brasília. **Anais...** São Paulo: EDUSO, 1977. P. 333-347.

KORNDÖRFER, G. H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. (Coord.). **Importância da adubação e qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: ícone, 1994. P. 133-142.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Piracicaba, 2004. **Anais...** São Pedro: POTAFOS, 2003, p. 291-305.

KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. **Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Ciências do Solo. Campinas, v. 16, n. 2, p. 217-222, 1992.

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.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; PORTO FILHO, F. Q.; GHEYI, R. H.; MEDEIROS, J. F. **Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 9, p. 292 - 295, 2005.

MALAVOLTA, Eurípedes et al. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípio e aplicações.** Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; DE OLIVEIRA FRANCELINO, H.; COELHO, F. C. **Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar.** Vértices, v.17, n.1, p.163-181, 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, 2015.

MORELLI, J. L. et al. **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

MOURA FILHO, G. et al. **Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar.** In: SEMINÁRIO ALAGOANO SOBRE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, 7, 2006. Maceió. Anais... Maceió: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, STAB Leste, 2006.

NAHAS, E.; ASSIS, L. C. **Efeito da adição ao solo de fosfato solúvel obtido por via microbiológica a partir de fluorapatita.** Revista Latinoamericana de Microbiologia, México, v. 33, n 2/3, p. 225-229, 1991.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. **Fósforo.** In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds.

Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.1. p.471-550.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. **Seja doutor do seu canavial**. Arquivo agrônômico, n.6, POTAFOS, 1994.

PASUCH, B. D.; CAIONE, G.; RODRIGUES, M.; DRESCHER, A. H.; FERNANDES, F. M.; **Desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica da primeira soqueira da cana-de-açúcar em função de fontes de fósforo**. Comunicata Scientiae, Bom Jesus, v. 3, n. 4, p. 263-270, 2012.

PÓVOAS, I.; BARRAL, M.F. **Métodos de Análise de Solos**. Comunicações do IICT, Série de Ciências Agrárias nº. 10. Lisboa. 1992.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997.

REIN, T. A. et al. **Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no cerrado**. Circular Técnica - EMBRAPA, 2016.

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

RIBEIRO, A.C.; GUIMRÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.

SANTOS, V. R.; FILHO, M. G.; ALBULQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. **Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SILVA, M. DE A.; JERONIMO, E. M.; LÚCIO, A. D. **Perfilamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 8, p. 979-986, 2008.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.

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.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. M.; LOBATO, E. **Interpretação de análises de terra e recomendação de adubos fosfatados para as culturas anuais no cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 7 p. (EMBRAPA-CPAC, Comunicado Técnico, 51).

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, A.T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Fósforo na Agricultura Brasileira**, YAMADA, T.; SRS ABDALLA (Eds.), p. 157-196, 2004.

SOUSA, R. T. X. **Fertilizantes fosfatados para cana-de-açúcar aplicados em pré-plantio (fosfatagem)**. 2011, 40f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo – Essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 1-10.

STEFANUTTI, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. **Recuperação do fósforo residual do solo, derivado de um termofosfato magnésiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado**. Scientia Agricola, v. 52, n. 2, p. 233-238, 1995.

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.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 97, p 1-16, 2002.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A.; LUZ, P. H. C.; QUINTINO, T.A. **Manejo e uso de fertilizantes em cana-de-açúcar**. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M.A.; AZANIA, A. A. P. M.; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G.A.; VALE, D. W. Tópicos em tecnologia sucroalcooleira. Jaboticanal, p. 31-51, 2006.

VITTI, G. C.; WIT, A. de; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 1-10.

VOLKWEISS, S. J.; RAIJ, B. VAN. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4, 1976, Brasília. **Anais...**São Paulo: EDUSP, 1977, p. 317-322.