

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

BRUNO OZZY SOARES

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DOS FOSFATOS
DECANTADO E PRECIPITADO PARA A CANA-DE-
AÇÚCAR

Uberlândia – MG

JULHO – 2019

BRUNO OZZY SOARES

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DOS FOSFATOS
DECANTADO E PRECIPITADO PARA A 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

JULHO – 2019

BRUNO OZZY SOARES

**Eficiência agronômica dos fosfatos decantado e precipitado para
a 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, 19 de Julho de 2019

Banca Avaliadora

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
Orientador

Dr. Gustavo Alves Santos
Membro da Banca

MSc. Barbara Campos Ferreira
Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por ter me dado saúde, sabedoria e paciência necessária para conseguir conquistar todos os meus desafios até o presente momento.

Agradeço e dedico esta conquista aos meus familiares por sempre me darem condição e acreditarem em mim em todos os momentos.

Agradeço aos meus amigos da agronomia UFU por terem me ajudado a chegar neste momento. Não iria ter conseguido chegar até aqui sozinho.

Ao Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura (GPSi), por todo o aprendizado de vida tanto profissional, quanto técnico. Agradeço aos amigos que fiz e vou levar para o resto da vida e especialmente ao Gustavo e a Camila, por todo o auxílio, dicas, paciência e ensinamento na produção 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 a realização deste sonho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Grande quantidade de P é aplicada nas culturas, porém apenas de 5% a 20% é absorvido pelas plantas em decorrência do fenômeno de fixação que ocorre no solo. Os fosfatos naturais apresentam, normalmente, menor eficiência, em especial no ano da aplicação e nas culturas anuais, as quais apresentam alta demanda de P num curto espaço de tempo. O fosfato decantado tem origem nos efluentes da produção dos fosfatos solúveis e apresentam características ácidas. O material sobrenadante resultante do primeiro tratamento é encaminhado para uma segunda lagoa, onde recebe cal hidratada. O material formado é sedimentado para obtenção do fosfato decantado com 9% de fósforo solúvel em água. Com essas características químicas, o produto passa a ser viável e recomendado para uso na agricultura. A precipitação de fosfato é uma reação físico-química em que são utilizados sais de metais trivalentes para precipitar fosfatos. O ferro e os sais de alumínio são aplicados para este fim. Injetar sais metálicos cria íons metálicos carregados positivamente que reagem com íons fosfato negativamente carregados. O fosfato metálico dificilmente solúvel resultante é precipitado sob a forma de flocos finos. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com 7 tratamentos e 4 repetições. Dessa forma, os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial $3 \times 2 + 1$, sendo 3 fontes de P (fosfato decantado, precipitado e Super Fosfato Triplo (SFT), 2 doses de P_2O_5 (200 e 400 kg ha⁻¹), mais uma testemunha sem a aplicação de fósforo. Os tratamentos foram aplicadas em área total, antes do plantio da cana-de-açúcar. Objetivou-se avaliar a eficiência de fontes decantadas e precipitadas de fósforo na absorção pela planta e disponibilização para o solo na cultura da cana-de-açúcar. Foram realizadas as seguintes avaliações: perfilhamento; teores foliares de P e Ca; produtividade de colmos; Eficiência Agronômica Relativa (EAR); altura e diâmetro de colmos; qualidade da matéria-prima (ATR) e produção de açúcar (TAH); teores de P (Mehlich e Resina), Ca e pH no solo. No primeiro corte o tratamento fosfato precipitado obteve melhores produtividades nas duas doses (200 e 400 kg ha⁻¹) comparado aos outros tratamentos. No entanto, na soqueira o tratamento superfosfato triplo na dose de 200 kg ha⁻¹ obteve maior desempenho de produção comparado aos outros tratamentos. O efeito residual da adubação fosfatada, com o uso de diferentes fontes de P, promoveu alterações significativas no desenvolvimento e na produtividade da soqueira da cana-de-açúcar.

Palavras Chave: Fósforo, fosfato natural, *saccharum officinarum*, fertilidade do solo, fosfatagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1	Importância do fósforo para a cana-de-açúcar	7
2.2	Dinâmica do fósforo no solo	9
2.3	Fertilizantes fosfatados	9
2.4	Fosfato decantado	11
2.5	Fosfato precipitado	12
3	MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1	Instalação	12
3.2	Delineamento	12
3.3	Condução	13
3.4	Avaliações	14
3.5	Análises estatísticas	16
4	RESULTADOS	17
4.1	Perfilhamento	17
4.2	Teores foliares – P e Ca	18
4.3	Produtividade da cana-de-açúcar	20
4.4	Altura e diâmetro	21
4.5	Qualidade da matéria-prima (ATR e TAH)	22
4.6	Teores de P, Ca e pH do solo	24
4.7	Eficiência agrônômica relativa (EAR)	29
5	CONCLUSÕES	30
6	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros têm baixa fertilidade natural devido, principalmente, à alta acidez e à baixa saturação por bases e disponibilidade de nutrientes, a exemplo do fósforo (P). De modo geral, esses solos apresentam alta capacidade de adsorção de P, diminuindo a disponibilidade deste elemento para as plantas. Além disso, outro fato que influencia no aproveitamento de P pelas culturas está relacionado à baixa eficiência na absorção e utilização do P, característica apresentada pela maioria das variedades modernas das culturas empregadas comercialmente (NOVAIS E SMYTH, 1999).

Além da acidez como um fator limitante da fertilidade dos solos de cerrado, a forte e generalizada deficiência de P pode ser considerada um fator que impossibilitava a utilização agrícola desses solos, na ausência de fertilizantes químicos (HARRINGTON E SORENSEN, 2004).

Grande quantidade de P é aplicada nas culturas, porém apenas de 5% a 20% é absorvido pelas plantas em decorrência do fenômeno de fixação que ocorre no solo. Devido a esse fator, torna-se necessária a utilização de fontes alternativas de P que apresentem boa disponibilidade durante o ciclo da planta (RAIJ ET AL., 1996).

As fontes alternativas de P podem apresentar bons resultados nos solos de cerrado, visto que em sua maioria apresenta alto poder de fixação de P no decorrer do tempo, o que pode reduzir a eficiência das fontes aciduladas. De acordo com o tipo de fonte fosfatada, outro fator a ser levado em conta para que se tenha melhor aproveitamento do P aplicado via fertilizante fosfatado é o modo de aplicação, pois fontes que apresentam maior solubilidade são indicadas que sejam aplicadas de forma localizada e as fontes de menor solubilidade em água ou totalmente insolúveis em área total visando melhor dissolução do P aplicado pela fonte fosfatada (SOUSA; LOBATO, 2003).

Assim, objetivou-se avaliar a eficiência de fontes decantadas e precipitadas de fósforo na absorção pela planta e disponibilização para o solo na cultura da cana-de-açúcar.

REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Importância do fósforo para a cana-de-açúcar

O fósforo é um macronutriente que a cana-de-açúcar necessita em menor quantidade quando comparado aos demais macronutrientes. Para produzir 1 tonelada de

cana-de-açúcar é necessário cerca de 1,1 kg ha⁻¹ de P. Ele exerce função chave no metabolismo da planta, particularmente na formação de proteínas, pois compõe a estrutura das moléculas de ATP e ADP. O fósforo também atua na constituição de fosfolipídios e moléculas de DNA e RNA, ou seja, participa do processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração, fornecimento de energia a partir da ATP e formação de sacarose (BASTOS et al., 2008).

A importância do fósforo na cultura da cana-de-açúcar está no fato deste macronutriente participar, direta e indiretamente, de diversos processos metabólicos; atuando desde o desenvolvimento das raízes, produção de colmos até nas características industriais, como porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana (pol%), pureza de caldo e clarificação. Desta forma, sua deficiência pode levar à diminuição na formação de sacarose (BASTOS et al., 2008).

Grant (2011) relata que o fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento adequado de P é essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta (GRANT, 2011).

O P na cana-de-açúcar é essencial ao enraizamento e no perfilhamento e portanto, na produtividade final. (CLEMENTS, 1980)

Também possui a propriedade de aumentar a eficiência da utilização de água pela planta, bem como a absorção e a utilização de outros nutrientes, provenientes do solo ou do adubo, contribuindo para aumentar a resistência da planta a algumas doenças, a suportar baixas temperaturas e a falta de umidade, desempenhar funções chave no metabolismo, particularmente na formação de proteínas, no processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração e fornecimento de energia a partir do ATP (KORNDÖRFER, 2004).

1.2 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^-). 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).

1.3 Fertilizantes fosfatados

A caracterização desse material é feita de duas maneiras. No caso dos fosfatos solúveis em água, são indicados os teores de fósforo solúvel em citrato neutro de amônio + água e apenas o teor solúvel em água; para os fosfatos insolúveis em água, indica-se o teor total e o teor solúvel em ácido cítrico a 2% (20 g/L) (RAIJ ET AL., 1996).

A interpretação dos teores de fósforo em adubos fosfatados varia com a sua solubilidade em água. Os chamados fosfatos solúveis - superfosfatos e fosfatos de amônio - têm a maior parte do fósforo solúvel em água, o que significa pronta disponibilidade. Nesses casos há, também, uma fração relativamente pequena de fosfato insolúvel em

água, mas solúvel em citrato de amônio, também considerado disponível, embora não imediatamente (RAIJ ET AL.,1996).

Além do fosfato natural, que representa material de origem nacional, de baixa eficiência, o hiperfosfato é um fosfato natural importado, de alta eficiência, chamado também de fosfato natural de alta reatividade. Na adubação fosfatada com esses adubos, os cálculos devem ser feitos considerando apenas os teores totais de fósforo; os teores solúveis em ácido cítrico servem tão somente para caracterizar produtos de diferentes origens. O termofosfato é caracterizado da mesma maneira, mas os teores de fósforo solúvel em ácido cítrico são mais elevados. (RAIJ ET AL.,1996)

Os fosfatos naturais apresentam, normalmente, menor eficiência, em especial no ano da aplicação e nas culturas anuais, as quais apresentam alta demanda de P num curto espaço de tempo. Já os fosfatos solúveis em água mais vendidos no Brasil, como os superfosfatos simples e triplo, aumentam rapidamente o teor de P no solo, no entanto sua disponibilidade é diminuída ao longo do tempo devido ao processo de adsorção do P. (DE RESENDE, 2006).

O ideal seria ter um produto com solubilidade intermediária, entre fosfatos naturais de baixa reatividade e fosfatos acidulados de liberação rápida de P para o meio (NOVAIS E SMYTH, 1999).

Novas áreas são incorporadas ao sistema produtivo e quando altas produtividades são almeçadas, a necessidade de correção dos teores naturais de P no solo é fundamental. A fosfatagem, como prática corretiva, tem por objetivo elevar os teores de fósforo no solo, potencializando a adubação de plantio. SOUZA, 2002 e VITTI, 2006 mostraram quem a aplicação combinada de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em área total no pré-plantio, seguida por 100 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio proporcionou um incremento de 32% na produção de colmos por hectare quando comparada com a aplicação de 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio.

Por tratar-se de uma cultura semiperene a cana-de-açúcar requer quantidades de nutrientes ao longo do ciclo, em média cinco anos. A adubação corretiva fornece quantidades de P que serão, gradativamente, disponibilizadas para a cultura. De maneira geral, o valor residual de fertilizantes fosfatados solúveis em água, em relação ao efeito imediato no ano da aplicação, é de 60%, 45%, 35%, 15% e 5%, respectivamente, após um, dois, três, quatro e cinco anos da aplicação do fertilizante (SOUZA, 1987; SOUZA, 2004).

De forma geral, a eficiência da adubação fosfatada é baixa. Diante disso, Lana et al. (2004) ressaltam que há necessidade de novos métodos de adubação fosfatada no que diz respeito a fontes, épocas de aplicação e localização do adubo. Miranda e Miranda (2003) citam que a combinação apropriada das adubações corretiva em área total e de manutenção no sulco de plantio, assume grande importância para promover aumento de produtividade.

1.4 Fosfato decantado

Os solos brasileiros, de modo geral, apresentam deficiência na disponibilidade de P, que é considerado um elemento essencial para as plantas. Consequentemente, a ausência do fósforo representa grande prejuízo na produção de cana-de-açúcar. O acúmulo de matéria seca, fósforo e de proteína bruta é influenciado pela adubação fosfatada.

A utilização de subprodutos industriais como fontes de P é uma alternativa econômica e sustentável com potencial de promover melhorias à fertilidade de solos tropicais. Os subprodutos da fabricação de fontes solúveis de P, ou seja, os materiais que foram separados como rejeitos durante o processo de acidulação da rocha fosfática, podem, muitas vezes, serem utilizados como fontes de P na agricultura como o fosfato decantado, um subproduto do tratamento de efluentes da produção de ácido fosfórico (H_3PO_4), é uma fonte que pode ser utilizada como fertilizante fosfatado em diversas culturas. (LEAL ET AL., 2017)

Para o fornecimento do nutriente, a utilização dos fosfatos decantados de origem industrial está em expansão por ser uma fonte de valor econômico baixo, além, de diminuir o impacto ambiental (LISBOA, L. A. M., 2017)

O fosfato decantado tem origem nos efluentes da produção dos fosfatos solúveis e apresenta características ácidas. O material sobrenadante resultante do primeiro tratamento é encaminhado para uma segunda lagoa, onde recebe cal hidratada. O material formado é sedimentado para obtenção do fosfato decantado com 9% de fósforo solúvel em água. Com essas características químicas, o produto passa a ser viável e recomendado para uso na agricultura (LISBOA, L. A. M., 2017).

1.5 Fosfato precipitado

A precipitação de fosfato é uma reação físico-química em que são utilizados sais de metais trivalentes para precipitar fosfatos. O ferro e os sais de alumínio são aplicados para este fim. Injetar sais metálicos cria íons metálicos carregados positivamente que reagem com íons fosfato negativamente carregados. O fosfato metálico dificilmente solúvel resultante é precipitado sob a forma de flocos finos (LISBOA, L. A. M., 2017).

O precipitante deve ser injetado no ponto certo para que os íons reajam o suficiente. Posteriormente, ocorre uma fase de floculação durante a qual os produtos de precipitação fina se agregam a flocos assentáveis (LISBOA, L. A. M., 2017).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação

Para estudar a eficiência de fontes alternativas de P na cultura da cana-de-açúcar, um experimento foi instalado no dia 16.04.13 em área comercial da Usina Cerradão, na fazenda Ribeirão do Boi, município de Frutal, MG. O local para instalação do experimento apresentava baixo teor de P no solo ($P < 15 \text{ mg dm}^3$) e teor de argila $< 30\%$.

2.2 Delineamento

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com 7 tratamentos e 4 repetições. Dessa forma, os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial $3 \times 2 + 1$, sendo 3 fontes de P (Fosfato decantado, precipitado e Super Fosfato Triplo (SFT), 2 doses de P_2O_5 (200 e 400 kg ha^{-1}), mais uma testemunha sem a aplicação de fósforo. Os tratamentos foram aplicadas em área total, antes do plantio da cana-de-açúcar. Os tratamentos e a caracterização das fontes avaliadas estão descritos nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Fertilizantes e doses utilizadas em cada tratamento

Fonte de P	Dose P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)
Testemunha	0
Super Fosfato Triplo	200
Super Fosfato Triplo	400
Fosfato decantado	200
Fosfato decantado	400
Fosfato precipitado	200
Fosfato precipitado	400

Tabela 2. Caracterização dos fertilizantes fosfatados em relação aos teores de P₂O₅ total, P₂O₅ em CNA+H₂O, Ca

Fonte de P	P ₂ O ₅			Ca
	(CNA ¹ +H ₂ O)	(Água)	(Total)	(Total)
SFT	41	37	45	13
Fosfato decantado	12	2,4	14	12
Fosfato precipitado	3	1,2	7	20

¹CNA = citrato neutro de amônio.

2.3 Condução

O experimento foi conduzido por um período de 2 anos (cana-planta/1º corte; cana-soca/2º corte). As parcelas foram constituídas por 5 linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento e espaçadas 1,5 m entre si, que corresponde ao espaçamento atualmente adotado no país para colheita mecanizada. A área de cultivo de cada parcela foi de 75 m², sendo que, entre cada uma das parcelas, adotou-se ainda um espaçamento de 3 m nas cabeceiras.

A variedade utilizada foi a RB 92 579. Foi realizada adubação de plantio com o formulado 06-30-15 (0,4 t ha⁻¹). Na operação de quebra-lombo, realizou-se a adubação de N e K através do formulado 13-00-36 (0,27 t ha⁻¹).

2.4 Avaliações

Foram realizadas as seguintes avaliações: perfilhamento; teores foliares de P e Ca; produtividade de colmos; Eficiência Agronômica Relativa (EAR); altura e diâmetro de colmos; qualidade da matéria-prima (ATR) e produção de açúcar (TAH); teores de P (Mehlich e Resina), Ca e pH no solo.

- Perfilhamento

Aos 192 dias (outubro) após o plantio (DAP) no primeiro corte e aos 528 DAP (outubro) no segundo corte, avaliou-se o número de perfilhos por metro linear pela contagem do número de perfilhos presentes nas três linhas centrais de cada parcela. A relação do número total de perfilhos obtidos pelo total de metros lineares avaliados resulta nos valores de número de perfilhos por metro linear.

- Teores foliares de P e Ca

Aos 192 dias (outubro) após o plantio (DAP) no primeiro corte e aos 528 DAP (outubro) no segundo corte, foram coletadas amostras de folha para análise dos teores de P, Ca seguindo metodologia proposta por Silva (2009). Assim, coletaram-se duas folhas (TVD - Top Visible Dewlap) de cada uma das 5 linhas da parcela. A TVD é definida como a primeira folha com a lígula visível, das quais foram retirados o terço médio e a nervura central para a posterior análise laboratorial.



Figura 1. Folha da cana-de-açúcar com a lígula visível. Fonte: Acervo pessoal

- Produtividade de colmos e Eficiência Agronômica Relativa (EAR)

A colheita da parcela inteira foi realizada aos 334 DAP (março) no primeiro corte e aos 528 DAP (outubro) no segundo corte de forma manual com o auxílio de uma balança acoplada a um tripé (Figura 2). A produtividade foi determinada convertendo os pesos obtidos para $t\ ha^{-1}$.



Figura 2. Balança acoplada a um tripé. Fonte: GPSI, 2018

Utilizando a produção de colmos do 1º corte (cana planta) e do 2º corte (cana soca), calculou-se o Índice de Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de P conforme a seguinte expressão (Korndörfer; Melo, 2009):

$$EAR (\%) = \frac{\text{Produtividade da fonte} - \text{Produtividade da Testemunha}}{\text{Produtividade com SFT} - \text{Produtividade da Testemunha}} \times 100$$

Considerou-se, em cada fonte, o SFT como tratamento padrão para aplicação da fórmula.

Após a colheita foram retiradas amostras de solo (0-20 cm e 20-40 cm) em cada parcela para análise de P, Ca e pH no solo, visando a quantificação da disponibilização de P proveniente dos fertilizantes. A extração das amostras foi realizada com auxílio de um trado acoplado em um motor a gasolina, com um ponto em cada uma das cinco linhas, para cada amostra composta.

- Altura de plantas e diâmetro de colmos

Aos 334 DAP e aos 528 DAP, foram avaliadas a altura de plantas (m) e o diâmetro dos colmos (mm) da cana-de-açúcar. Para essas avaliações, foram utilizadas trena e paquímetro, respectivamente.



Figura 3. Medição do comprimento (A) e diâmetro (B) de colmos da cana-de-açúcar. Fonte: GPSI, 2018.

- Qualidade da matéria-prima

No momento da colheita, amostrou-se oito colmos, aleatoriamente, em cada uma das parcelas, os quais foram enviados ao laboratório da usina para determinação do ATR coletando-se, , seguindo metodologia proposta por CONSECANA (2006). O resultado da análise foi utilizado para o cálculo da produção de açúcar por hectare (TAH, em $t\ ha^{-1}$), multiplicando-o pelo TCH.

2.5 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos às análises de variância com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT. Sendo o teste F significativo, as médias foram comparadas pelos testes de Tukey e Dunnet, ambos a 0,05 de significância.

3 RESULTADOS

3.1 Perfilhamento

Na tabela a seguir estão os valores de perfilhamento obtidos no primeiro corte e na soqueira.

Tabela 3. Número de perfilhos por metro linear de cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	perfilho (m ⁻¹)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
	1º corte			
0		8,2		
200	7,9 ^{ns}	8,7 ^{ns}	8,5 ^{ns}	8,4 A
400	8,9 ^{ns}	8,8 ^{ns}	8,3 ^{ns}	8,7 A
Média	8,4 a	8,8 a	8,4 a	
	2º corte			
0		12,3		
200	9,8bB*	11,6abA ^{ns}	12,4aA ^{ns}	11,3
400	11,4aA ^{ns}	11,8aA ^{ns}	10,4aB ^{ns}	11,2
Média	10,6	11,7	11,4	

1º corte: DMS_{Dunnet}: 1,4; DMS_{Tukey.fontes}: 0,9; DMS_{Tukey.doses}: 0,6; CV: 8,4%.

2º corte: DMS_{Dunnet}: 2,1; DMS_{Tukey.fontes}: 1,4; DMS_{Tukey.doses}: 0,9; CV: 9,4%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Não foram observadas diferenças entre os tratamentos para o perfilhamento da cana planta, cuja média de perfilhos por metro foi de 8,5 (tabela 3). Na soqueira (2º corte), a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proveniente do supertríplo causou redução na quantidade de perfilhos/m em relação à testemunha. Esse resultado foi inferior também à aplicação do fosfato precipitado na mesma dose (tabela 3). Na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o comportamento dos produtos foi similar, porém diferenças entre essa dose e a menor (200 kg ha⁻¹) foram observadas para o SFT, com aumento do perfilhamento e para o fosfato precipitado, com redução no perfilhamento (tabela 3).

Igualmente aos resultados obtidos neste estudo, Korndörfer e Alcarde (1992), estudando o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento da cana-de-açúcar, constataram que este nutriente proporcionou aumento no perfilhamento. Mas Pasuch et al. (2012), ao avaliar o efeito residual de diferentes fontes de P aplicados no plantio da

cana-de-açúcar em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, verificaram, na primeira soca, que não houve influência da aplicação de P no número de perfilhos com falha por linha da parcela.

3.2 Teores foliares – P e Ca

Nas tabelas a seguir estão os valores de teores foliares de P e Ca obtidos no primeiro corte e na soqueira.

Tabela 4. Teor de P foliar de cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	P foliar (g kg ⁻¹)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
	I corte			
0		1,5		
200	1,7 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,6A
400	1,6 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,7A
Média	1,6a	1,6a	1,7a	
	II corte			
0		2,0		
200	1,9 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,1 ^{ns}	2,1A
400	2,0 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,0 ^{ns}	2,1A
Média	2,0b	2,2a	2,1a	

I corte: DMS_{Dunnet}: 0,2; DMS_{Tukey.fontes}: 0,1; DMS_{Tukey.doses}:0,1; CV: 6,52%.

II corte: DMS_{Dunnet}: 0,2; DMS_{Tukey.fontes}: 0,2; DMS_{Tukey.doses}:0,1; CV: 5,06%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Tabela 5. Teor de Ca foliar de cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Ca foliar (g kg ⁻¹)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
	I corte			
0		7,3		
200	7,5 ^{ns}	7,4 ^{ns}	7,6 ^{ns}	7,5A
400	7,5 ^{ns}	7,3 ^{ns}	7,7 ^{ns}	7,5A
Média	7,5ab	7,3b	7,6a	
	II corte			
0		6,9		
200	7,0 ^{ns}	6,7 ^{ns}	6,6 ^{ns}	6,8A

400	6,7 ^{ns}	7,0 ^{ns}	7,0 ^{ns}	6,9A
Média	6,9a	6,9a	6,8a	

I corte: DMS_{Dunnet}: 0,4; DMS_{Tukey.fontes}: 0,3; DMS_{Tukey.doses}: 0,2; CV: 2,80% .

II corte: DMS_{Dunnet}: 1,1; DMS_{Tukey.fontes}: 0,7; DMS_{Tukey.doses}: 0,5; CV: 8,24% .

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

De modo geral, os teores foliares de P, Ca não foram influenciados pela aplicação dos fertilizantes fosfatados. Como na área realizou calagem, já se era esperado que não houvesse diferença significativa neste parâmetro.

Quanto aos teores de P, resultados semelhantes foram verificados por Korndörfer e Alcarde (1992), os quais não encontraram diferenças nos teores de P foliar, variando de 2,8 g kg⁻¹ a 3,0 g kg⁻¹, entre os tratamentos com superfosfato triplo e simples, ácido fosfórico e ácido fosfórico + fosfato natural. Entretanto, Pereira et al. (1995) observaram aumento nos teores foliares de P variando entre 0,6 e 1,6 g kg⁻¹ em função de níveis crescentes de P aplicado no solo. Ressalta-se que, neste estudo, obteve-se teor médio de 1,5 g kg⁻¹ de P foliar, que segundo Raij e Cantarella (1996) pode ser considerado adequado (1,5 a 3,0 g kg⁻¹).

É importante considerar que os atributos de cada tipo de solo podem interferir na absorção de P pelas plantas, além do teor disponível do elemento no solo. Neste contexto, Maule et al. (2001) observaram em dois solos (Planossolo e Podzólico), que mesmo apresentando teores semelhantes do nutriente, diferenças na absorção de P pela cana foram constatados.

Em relação aos teores de Ca em folhas de cana-de-açúcar, esses valores são considerados dentro do nível adequado para cultura conforme Raij e Cantarella (1996), com concentração média de 7,4 g kg⁻¹ e 6,9 g kg⁻¹.

3.3 Produtividade da cana-de-açúcar

Na tabela a seguir estão os valores de produtividade obtidos no primeiro corte e na soqueira.

Tabela 6. Produtividade de cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	F. decantado (t.ha ⁻¹)			Média
	SFT	I corte	F. precipitado	
0		115,1		
200	116,0 ^{ns}	116,7 ^{ns}	123,7 ^{ns}	118,8A
400	115,1 ^{ns}	118,5 ^{ns}	121,1 ^{ns}	118,4A
Média	115,8a	117,6a	122,4a	
	II corte			
0		95,6		
200	112,9 ^{ns}	99,9 ^{ns}	103,5 ^{ns}	105,5A
400	98,1 ^{ns}	106,4 ^{ns}	106,5 ^{ns}	103,7A
Média	105,5a	103,2a	104,9a	

I corte: DMS_{Dunnet}: 22,4; DMS_{Tukey.fontes}: 14,3; DMS_{Tukey.doses}: 9,60; CV: 9,47%.

II corte: DMS_{Dunnet}: 24,4; DMS_{Tukey.fontes}: 15,5; DMS_{Tukey.doses}: 10,4; CV: 11,79%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Os resultados de produtividade de colmos da cana-de-açúcar estão demonstrados na Tabela 6. Esses resultados indicam que não houve influência das diferentes doses e fontes de P₂O₅ na produtividade da cana-de-açúcar. No entanto, nota-se que, de modo geral, acréscimos nas médias de produtividade com aplicação de SFT (45% de P₂O₅), F. Decantado (14% de P₂O₅) e F. Precipitado (7% de P₂O₅) foram apresentados quando comparados ao tratamento testemunha. E em comparação entre as doses e fontes, a parcela que recebeu o tratamento F. precipitado 200 kg ha⁻¹ no 1º corte obteve maior produtividade, enquanto que o tratamento SFT na dose de 200 kg ha⁻¹ no segundo corte obteve uma maior produtividade.

3.4 Altura de plantas e diâmetro de colmos

Na tabela a seguir estão os valores de altura e diâmetro obtidos no primeiro corte e na soqueira.

Tabela 7. Altura de cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Altura (m)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
	I corte			
0		3,1		
200	3,1 ^{ns}	3,2 ^{ns}	3,2 ^{ns}	3,2B
400	3,5*	3,3 ^{ns}	3,2 ^{ns}	3,3A
Média	3,4a	3,2a	3,2a	
	II corte			
0		2,3		
200	2,5 ^{ns}	2,5 ^{ns}	2,4 ^{ns}	2,5B
400	2,5*	2,6*	2,6*	2,6A
Média	2,5a	2,5a	2,5a	

I corte: DMS_{Dunnet}: 0,3; DMS_{Tukey.fontes}: 0,2; DMS_{Tukey.doses}: 0,1; CV: 4,96%.

II corte: DMS_{Dunnet}: 0,2; DMS_{Tukey.fontes}: 0,1; DMS_{Tukey.doses}: 0,1; CV: 3,71%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Ao observar a altura de plantas, foi verificada influência da aplicação dos fosfatos nas fontes SFT na dose de 400 kg ha⁻¹ no primeiro corte e também se observou diferença em relação a testemunha em todas as fontes do segundo corte onde se aplicou 400 kg ha⁻¹, sendo 0,4 m as plantas do primeiro corte com aplicação de 400 kg ha⁻¹ de SFT e de 0,2 a 0,3m maiores que as plantas testemunha do 2º corte (Tabela 7).

As doses de 400 kg ha⁻¹ obtiveram um melhor desempenho nos dois cortes comparados com as doses de 200 kg ha⁻¹, independentemente da fonte (Tabela 7).

Diferentemente disto, no estudo da influência de fertilizantes fosfatados em cultivo de cana-planta, Factor (2008) não constatou diferença significativa na altura das plantas avaliadas aos 180 DAP, assim como verificado por Pasuch et al. (2012). Por outro lado, Bezerra (2014), avaliando associação de fertilizantes fosfatados com turfa, observou incremento na altura de plantas de acordo com aumento das doses de P.

Tabela 8. Diâmetro da cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Diâmetro (mm)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
	I corte			
0		30,0		
200	31,2 ^{ns}	30,4 ^{ns}	30,8 ^{ns}	30,8B
400	32,5*	33,2*	31,5 ^{ns}	32,4A
Média	31,9a	31,8a	31,1a	
	II corte			
0		26,7		
200	24,7 ^{ns}	24,4 ^{ns}	27,1 ^{ns}	25,4A
400	25,5 ^{ns}	26,7 ^{ns}	24,7 ^{ns}	25,6A
Média	25,1a	25,5a	25,9a	

I corte: DMS_{Dunnet}: 2,5; DMS_{Tukey.fontes}: 1,6; DMS_{Tukey.doses}: 1,1; CV: 3,96%.

II corte: DMS_{Dunnet}: 3,4; DMS_{Tukey.fontes}: 2,1; DMS_{Tukey.doses}: 1,4; CV: 6,55%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Os valores de diâmetro de colmos variaram em função da aplicação dos fertilizantes SFT e F. Decantado na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, apresentando diâmetro superior à testemunha em 2,5 mm e 3,2 mm, respectivamente, no 1º corte (Tabela 8).

Resultado diferente foi observado por Pasuch et al. (2012), os quais não observaram diferenças ao avaliar o diâmetro de colmos da primeira soqueira da cana-de-açúcar, mas diferente do obtido por Bezerra (2014), o qual constatou aumento no diâmetro dos colmos.

3.5 Qualidade da matéria-prima (ATR) e produção de açúcar (TAH)

Na tabela a seguir estão os valores da qualidade da matéria-prima e produção de açúcar obtidos no primeiro corte e na soqueira.

Tabela 9. ATR da cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	ATR (kg.t ⁻¹)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
	I corte			
0		160,9		
200	157,5 ^{ns}	162,7 ^{ns}	159,1 ^{ns}	159,7A
400	157,5 ^{ns}	165,1 ^{ns}	162,9 ^{ns}	161,8A

Média	157,4a	163,9a	161,0a	
II corte				
0		142,3		
200	139,8 ^{ns}	143,7 ^{ns}	142,7 ^{ns}	142,1A
400	140,5 ^{ns}	144,9 ^{ns}	144,1 ^{ns}	143,2A
Média	140,2a	144,3a	143,4a	

I corte: DMS_{Dunnett}: 12,9; DMS_{Tukey.fontes}: 8,2; DMS_{Tukey.doses}: 5,5; CV: 4,00%.

II corte: DMS_{Dunnett}: 8,1; DMS_{Tukey.fontes}: 5,1; DMS_{Tukey.doses}: 3,5; CV: 2,84%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Assim como na análise foliar, o ATR também não foi influenciado pela aplicação de fertilizantes fosfatados, sendo apresentado resultados semelhantes com a aplicação das diferentes doses e fontes (Tabelas 9), com médias de 160,7 kg t⁻¹ no 1º corte e 142,6 kg t⁻¹ no 2º corte (Tabela 9).

É importante avaliar se houve influência da aplicação de P nessas variáveis porque segundo Lavanholi (2010) e Santos et al. (2005), o ATR representa todos os açúcares da cana, na forma de açúcares invertidos, embora outras substâncias redutoras, presentes no caldo de cana possam estar incluídas.

Tabela 10. TAH da cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	TAH (t.ha ⁻¹)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado I	
I corte				
0		18,5		
200	18,2 ^{ns}	19,0 ^{ns}	19,7 ^{ns}	19,0A
400	18,2 ^{ns}	19,5 ^{ns}	19,7 ^{ns}	19,2A
Média	18,3a	19,3a	19,7a	
II corte				
0		13,6		
200	15,8 ^{ns}	14,3 ^{ns}	14,8 ^{ns}	15,0A
400	13,8 ^{ns}	15,4 ^{ns}	15,3 ^{ns}	14,8A
Média	14,8a	14,9a	15,0a	

I corte: DMS_{Dunnett}: 3,8; DMS_{Tukey.fontes}: 2,5; DMS_{Tukey.doses}: 1,6; CV: 10,10%.

II corte: DMS_{Dunnett}: 3,4; DMS_{Tukey.fontes}: 2,2; DMS_{Tukey.doses}: 1,45; CV: 11,46%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

A produtividade de açúcar (TAH) também não foi influenciada pelas fontes e doses de P₂O₅ (Tabela 10). No entanto, mesmo não observando diferença significativa, nota-se que a aplicação da fonte F. Precipitado resultou em acréscimos em relação à

testemunha de 1,2 t ha⁻¹ após o primeiro corte da cana-de-açúcar. Após o segundo corte, o TAH médio apresentado no tratamento com F. Precipitado e F. Decantado foram superiores à testemunha em 1,4 e 1,3 t ha⁻¹ respectivamente.

A deficiência de P, de acordo com Elamin et al. (2007), resulta em decréscimo significativo no acúmulo de sacarose, uma vez que a adubação fosfatada afeta diretamente a quantidade de açúcar e a pureza do caldo. Segundo Pereira et al. (1995), fatores como clima, variedades e manejo do solo exercem influência sobre as características tecnológicas da cana-de-açúcar, dificultando avaliação do efeito dos fertilizantes sobre esses parâmetros.

3.6 Teores de P, Ca e pH do solo

Na tabela a seguir estão os valores de teores de P, Ca e pH do solo obtidos no primeiro corte e na soqueira.

Tabela 11. Teores de P extraídos por Mehlich, em amostras de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico álico, nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm, em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG).

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	P Mehlich (mg.dm ⁻³)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
I corte				
0-20				
0		13,2		
200	52,9aA*	29,0bB*	24,3bB ^{ns}	35,4
400	29,0bB*	43,0aA*	43,7aA*	38,6
Média	41,0	36,0	34,0	
20-40				
0		11,3		
200	18,5aA ^{ns}	15,7aB ^{ns}	17,6aA ^{ns}	17,3
400	14,3bA ^{ns}	28,7aA*	17,6abA ^{ns}	20,2
Média	16,4	22,2	17,6	
II corte				
0-20				
0		36,2		
200	11,6 ^{ns}	35,8 ^{ns}	18,8 ^{ns}	22,1A
400	21,9 ^{ns}	37,5 ^{ns}	29,7 ^{ns}	29,7A
Média	16,7a	36,6a	24,3a	
20-40				
0		13,8		
200	19,3 ^{ns}	14,1 ^{ns}	15,2 ^{ns}	16,2A

400	26,2 ^{ns}	14,9 ^{ns}	21,9 ^{ns}	21,0A
Média	22,8a	14,5a	18,5a	

I corte, 00-20: DMS_{Dunnet}: 12,9; DMS_{Tukey.fontes}: 8,2; DMS_{Tukey.doses}: 5,5; CV: 19,20%.

I corte, 20-40: DMS_{Dunnet}: 12,7; DMS_{Tukey.fontes}: 8,1; DMS_{Tukey.doses}: 5,4; CV: 35,92%.

II corte, 00-20: DMS_{Dunnet}: 46,5; DMS_{Tukey.fontes}: 29,7; DMS_{Tukey.doses}: 19,9; CV: 85,04%.

II corte, 20-40: DMS_{Dunnet}: 14,6; DMS_{Tukey.fontes}: 9,3; DMS_{Tukey.doses}: 6,3; CV: 40,74%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Ao avaliar os teores de P extraídos por Mehlich em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), foi observada diferença significativa entre os diferentes tratamentos (Tabela 11). Ao comparar a testemunha aos demais tratamentos, observa-se teores elevados para os tratamentos com fertilizantes fosfatados (Tabela 11).

De modo geral, após 1º corte, as fontes F. Decantado, F. Precipitado, SFT promoveram incrementos nos teores médios de P no solo extraídos por Mehlich, nas duas profundidades, resultando em teores de P considerados “MUITO BOM” (> 18 mg dm⁻³) (RAIJ ET AL.,1996). O tratamento testemunha apresentou teor no nível considerado “MÉDIO” (8,1 – 13 mg dm⁻³), conforme Raij et al.,1996.

Após o segundo corte, não houve diferença significativa em relação a testemunha. A aplicação dos F. Decantado na dose de 400 kg ha⁻¹ resultou em maiores teores de P na profundidade de 0 – 20 , cujos valores foram considerados “MUITO BOM” (> 18 mg dm⁻³) de acordo com CFSEMG (1999). Por outro lado, na profundidade de 20 – 40, maiores teores foram obtidos com o tratamento SFT na dose de 400 kg ha⁻¹, os quais também foram considerados “MUITO BOM” (>18 mg dm⁻³) (CFSEMG, 1999). O tratamento testemunha apresentou teor de P “MUITO BOM” (> 18 mg dm⁻³ na profundidade de 0-20 e “BOM” na profundidade de 20-40 (12 – 18 mg dm⁻³), conforme CFSEMG, 1999.

Tabela 12. Teores de P extraídos por Resina, em amostras de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico álico, nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm, em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG).

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	SFT	F. decantado	F. precipitado	Média
	P Resina (mg.dm ⁻³)			
I corte				
0-20				
0		5,9		

200	56,4aA*	28,8bA*	17,5aA*	34,3
400	27,4bB*	33,7abA*	43,7bB*	34,9
Média	41,9	31,3	30,6	
20-40				
0	4,1			
200	10,5aA ^{ns}	6,5aB ^{ns}	7,1aA ^{ns}	8,0
400	7,8bA ^{ns}	15,6aA*	9,3bA ^{ns}	10,9
Média	9,2	11,1	8,2	
II corte				
0-20				
0	8,0			
200	25,7aA ^{ns}	25,9aA ^{ns}	20,4aB ^{ns}	24,0
400	14,1bB*	23,7abA ^{ns}	30,9aA ^{ns}	22,9
Média	19,9	24,8	25,7	
20-40				
0	8,1			
200	11,0 ^{ns}	9,8 ^{ns}	5,6 ^{ns}	8,8B
400	13,2 ^{ns}	23,6*	10,9 ^{ns}	15,9A
Média	12,1ab	16,7a	8,2b	

I corte, 00-20: DMS_{Dunnet}: 13,9; DMS_{Tukey.fontes}: 8,8; DMS_{Tukey.doses}: 5,9; CV: 22,71%.

I corte, 20-40: DMS_{Dunnet}: 6,9; DMS_{Tukey.fontes}: 6,2; DMS_{Tukey.doses}: 0,6; CV: 5,10%.

II corte, 00-20: DMS_{Dunnet}: 11,2; DMS_{Tukey.fontes}: 7,1; DMS_{Tukey.doses}: 4,8; CV: 23,18%.

II corte, 20-40: DMS_{Dunnet}: 9,3; DMS_{Tukey.fontes}: 5,9; DMS_{Tukey.doses}: 4,00; CV: 39,41%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Assim como observado nos teores extraídos por Mehlich, foi verificada influência das doses de P₂O₅ nos teores de P extraídos por Resina nas duas profundidades avaliadas (Tabela 12).

Contudo, após o 1º corte na profundidade de 0-20, os tratamentos que receberam 200 kg ha⁻¹ de SFT apresentaram teores de P extraídos por Resina considerados “MUITO BOM” (>18 mg dm⁻³) conforme CFSEMG, (1999), enquanto que, no tratamento testemunha, os teores de P foram considerados “BAIXO” (4,1 – 8,0 mg dm⁻³) em ambas as profundidades avaliadas.

Após o 2º corte, nota-se que os teores de P no tratamento testemunha foram considerados “BAIXO” (4,1 – 8,0 mg dm⁻³) na profundidade de 0 – 20 cm e na profundidade de 20 – 40 cm foi considerada ao nível “MÉDIO” (8,1 - 12 mg dm⁻³), de acordo com CFSEMG, (1999). Na profundidade de 0-20 os teores de P extraídos por Resina nos tratamentos que receberam 400 kg ha⁻¹ F. Precipitado, está no nível considerado “MUITO BOM” (> 18,1 mg dm⁻³) e na profundidade de 20-40 foram considerados “BOM” (12,1 - 18 mg dm⁻³) conforme CFSEMG, (1999). Na profundidade

de 20-40 o tratamento de Fosfato Decantado na dose de 400 kg.ha⁻¹ resultou em um maior rendimento com teor de P considerado “MUITO BOM” (> 18,1 mg dm⁻³).

Tabela 13. Teores de Ca em amostras de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico álico, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG).

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Teores de Ca (cmol _c .dm ⁻³)			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
I corte				
0-20				
0		1,1		
200	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,4 A
400	1,4 ^{ns}	1,8*	1,7 ^{ns}	1,7 A
Média	1,3 a	1,6 a	1,7	
20-40				
0		1,4		
200	1,1 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,4A
400	1,1 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,4A
Média	1,1b	1,5a	1,7a	
II corte				
0-20				
0		1,5		
200	2,1 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,9A
400	1,9 ^{ns}	2,0 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,9A
Média	2,0a	1,9 ^a	1,8 ^a	
20-40				
0		1,0		
200	1,7 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,0 ^{ns}	1,4A
400	1,7 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,6A
Média	1,7a	1,5a	1,4a	

I corte, 00-20: DMS_{Dunnet}: 0,7; DMS_{Tukey.fontes}: 0,4; DMS_{Tukey.doses}: 0,3; CV: 22,2%.

I corte, 20-40: DMS_{Dunnet}: 0,5; DMS_{Tukey.fontes}: 0,3; DMS_{Tukey.doses}: 0,2; CV: 17,84%.

II corte, 00-20: DMS_{Dunnet}: 0,7; DMS_{Tukey.fontes}: 0,5; DMS_{Tukey.doses}: 0,3; CV: 20,53%.

II corte, 20-40: DMS_{Dunnet}: 1,1; DMS_{Tukey.fontes}: 0,76; DMS_{Tukey.doses}: 0,51; CV: 41,06%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Em relação aos teores de Ca no solo após 1º corte, verifica-se que, na profundidade de 0 – 20 cm, a aplicação da fonte F. Decantado resultou em teores superiores ao tratamento testemunha (Tabela 13).

De modo geral, os teores de Ca foram considerados “MUITO BOM” de acordo com CFSEMG (1999). Na profundidade de 20 – 40 cm, os teores de Ca em relação a testemunha foram maiores nos tratamentos que receberam a fonte F. Precipitado (Tabela 13), apesar de serem considerados “BAIXO” de acordo com CFSEMG (1999). O maior teor de Ca observado com o F. Precipitado pode estar relacionado à elevada concentração de Ca nesta fonte.

Quanto aos teores de Ca na profundidade de 20-40 cm, após o segundo corte, verifica-se que mesmo não havendo interação significativa, diferenças entre os valores médios dos tratamentos foram observadas. Dessa forma, maiores teores médios de Ca foram observados com a aplicação do SFT, quando aos demais tratamentos (Tabela 13).

Os teores de Ca após a aplicação da fonte SFT foram considerados “BAIXO” de acordo com CFSEMG (1999). Na profundidade de 20 – 40 cm, foi constatado que os tratamentos com SFT e F. Precipitado, tiveram maiores teores médios de Ca em relação ao F. Decantado. Na dose de 400 kg ha⁻¹ os teores de Ca em relação a testemunha foram maiores com F. Precipitado e SFT (Tabela 13), mas em geral os teores foram considerados ao nível “BAIXO”. O maior teor de Ca observado foi com o SFT no segundo corte com aplicação de 200 kg ha⁻¹.

Tabela 14. Teores de pH em CaCl₂ em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1º e 2º cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG)

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	pH e CaCl ₂			Média
	SFT	F. decantado	F. precipitado	
I corte				
0-20				
0		4,8		
200	5,0 ^{ns}	5,3*	5,2*	5,2A
400	4,9 ^{ns}	5,4*	5,3*	5,2A
Média	4,9b	5,4a	5,2a	
20-40				
0		5,3		
200	5,1 ^{ns}	5,5 ^{ns}	5,9 ^{ns}	5,5A
400	4,6*	5,3 ^{ns}	5,2 ^{ns}	5,0B
Média	4,8b	5,4a	5,6a	
II corte				
0-20				
0		4,9		
200	5,1 ^{ns}	5,2 ^{ns}	5,1 ^{ns}	5,1B
400	5,2 ^{ns}	5,2 ^{ns}	5,4*	5,3A
Média	5,1 ^a	5,2a	5,2a	
20-40				

0	5,0			
200	5,1 ^{ns}	5,3 ^{ns}	5,0 ^{ns}	5,1A
400	5,0 ^{ns}	5,5 ^{ns}	5,7 ^{ns}	5,4A
Média	5,1a	5,4a	5,3a	

I corte, 00-20: DMS_{Dunnet}: 0,4; DMS_{Tukey.fontes}: 0,2; DMS_{Tukey.doses}: 0,2; CV: 3,61%.

I corte, 20-40: DMS_{Dunnet}: 0,6; DMS_{Tukey.fontes}: 0,4; DMS_{Tukey.doses}: 0,3; CV: 6,42%.

II corte, 00-20: DMS_{Dunnet}: 0,3; DMS_{Tukey.fontes}: 0,2; DMS_{Tukey.doses}: 0,1; CV: 3,03%.

II corte, 20-40: DMS_{Dunnet}: 0,8; DMS_{Tukey.fontes}: 0,5; DMS_{Tukey.doses}: 0,3; CV: 7,76%.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *Difere do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ns: não significativo.

Em relação aos teores de pH em CaCl₂, nota-se que, de modo geral, foi observada diferença significativa entre as profundidades de 0-20 nos dois cortes (Tabela 14). Todavia, verifica-se que todos os tratamentos foram considerados no nível adequado ao solo de acordo com CFSEMG (1999).

Além disso, é importante destacar que mesmo sendo observada diferença significativa, o menor valor de pH foi observado no tratamento com SFT em relação aos demais, isso pode ser justificado pela acidez localizada no grânulo do fertilizante, que pode favorecer a redução de pH no local aplicado.

3.7 Eficiência agrônômica relativa (EAR)

Tabela 15. Eficiência agrônômica relativa (EAR) da cana planta em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio (1° e 2° cortes, variedade RB 92-579, Usina Cerradão, Frutal – MG).

EAR			
1° CORTE			
Fertilizantes	200 ¹	400 ¹	Média
-----%-----			
Superfosfato Triplo	100	100	100
F. precipitado	955	600	777
F. decantado	177	340	258
2° CORTE			
Superfosfato Triplo	100	100	100
F. precipitado	45	436	443
F. decantado	25	432	341

¹Doses em kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Os valores de EAR acumulados seguiram a seguinte ordem no 1º corte: F. precipitado (777%) > F. decantado (258%) > SFT (100%).

Os valores de EAR acumulados seguiram a seguinte ordem no 2º corte: F. precipitado (443%) > F. decantado (341%) > SFT (100%).

Conforme observado na tabela 15, F. decantado apresentou menor EAR em relação ao F. precipitado nos dois cortes.

De modo geral, a EAR dessas fontes indica que esses fertilizantes podem oferecer boas perspectivas de uso ao longo do tempo em solo de cerrado para cultura da cana-de-açúcar, sendo o F. precipitado a melhor fonte em relação ao F. decantado usando-se por base o EAR.

CONCLUSÕES

No primeiro corte o tratamento fosfato precipitado obteve melhores produtividades nas duas doses (200 e 400 kg ha⁻¹) comparado aos outros tratamentos. No entanto, na soqueira o tratamento superfosfato triplo na dose de 200 kg ha⁻¹ obteve maior desempenho de produção comparado aos outros tratamentos. Usando o parâmetro de EAR o tratamento fosfato precipitado teve um desempenho superior aos demais tratamentos e podendo ser observado aumento dos seus resultados nos próximos cortes. O efeito residual da adubação fosfatada, com o uso de diferentes fontes de P, promoveu alterações significativas no desenvolvimento e na produtividade da soqueira da cana-de-açúcar, sendo necessária avaliações dos cultivos consecutivos para melhor observar os parâmetros avaliados.

4 REFERÊNCIAS

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. **Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.136-142, 2008

CESAR, M. A. A.; SILVA, F. C. **A cana-de-açúcar de açúcar como matéria prima**
CLEMETS, H.F. Sugarcane, crop logging and control: principles and practices. London: Pitman publishing, 1980. 520p.

DE RESENDE, ALVARO VILELA ET AL. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado**. Embrapa Cerrados- Outras publicações científicas (ALICE), 2006.

GRANT, C. A., FLATEN, D. N., TOMASIEWICZ, D. J., SHEPPARD, S. C. **A importância do fósforo no desenvolvimento da planta. Informações agrônômicas** Nº 95. Setembro de 2011. Pg 1. 2011.

HARRINGTON, J. F. & SORENSON, B. W. **O desenvolvimento das terras de Cerrado no Brasil – A experiência do IRI**. Tradução: Eduardo P. Cardoso. São Paulo, Agronômica Ceres, 2004. 63p.

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. **Fósforo na cultura da cana-de-açúcar**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.290-360.

LANA, R.M.Q.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LUZ, J.M.Q.; SILVA, J.C. **Produção da alfaca em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de cerrado**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.22, n.3, p.525- 528, 2004.

LEAL, FÁBIO TIRABOSCHI; COUTINHO, EDSON LUIZ MENDES; FRANÇA, ANA BEATRIZ COELHO. **Fosfato decantado: efeitos na fertilidade do solo e na produção do capim-marandu dependendo da acidez do solo.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária), v. 12, n. 4, p. 516-525, 2017.

LISBOA, L. A. M.; HEINRICHS, R.; FIGUEIREDO, P. A. M. **Efeitos da fosfatagem nos atributos químicos do solo e produção de cana-de-açúcar para forragem**¹, 2017.

LOBATO, E. (Ed). **Cerrado: correção do solo e adubação.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 283-316.

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

MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C. **Efeito Residual da Adubação Fosfatada para a Cultura do Arroz em Solo de Cerrado.** Comunicado Técnico 87. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Planaltina, DF, 2003.

NOVAIS, R.F. de ; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p.

SOUZA, D. M. G. DE; VOLKWEISS, S. J.; CASTRO, L. H. R. **Efeito residual do superfosfato triplo em função da granulação e dose e do sistema de preparo do solo.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1987. 5 p.

SOUZA, D. M. G. – **Cerrado: correção e adubação.** Planaltina, EMBRAPA Cerrados, 2002, 416 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.102, p.1-16, 2003. (Encarte técnico). SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.;

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.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: Correção do Solo e Adubação**. Brasília DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

VITTI, ANDRÉ CESAR ET AL. **Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 3, p. 491-498, 2007.

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