



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICIAG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - PPGA

Diogo Aristóteles Rodrigues Gonçalves

**FOSFATOS NATURAIS REATIVOS E CALCINADOS NA
FOSFATAGEM DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Uberlândia-MG

2021

DIOGO ARISTÓTELES RODRIGUES GONÇALVES

**FOSFATOS NATURAIS REATIVOS E CALCINADOS NA
FOSFATAGEM DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do curso de Doutorado da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

Coorientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

Uberlândia-MG

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

G635f
2021 Gonçalves, Diogo Aristóteles Rodrigues, 1986-
Fosfatos naturais reativos e calcinados na fosfatagem da cana-de-
açúcar [recurso eletrônico] / Diogo Aristóteles Rodrigues Gonçalves. -
2021.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
Coorientador: Hamilton Seron Pereira
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de
Pós-Graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.5532>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953-, (Orient.). II.
Pereira, Hamilton Seron, 1968-, (Coorient.). III. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU:631

Glória Aparecida
Bibliotecária - CRB-6/2047



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese, 10/2021, PPGAGRO				
Data:	Vinte e nove de maio de dois mil e vinte e um	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	14:00
Matrícula do Discente:	11713AGR010				
Nome do Discente:	Diogo Aristóteles Rodrigues Gonçalves				
Título do Trabalho:	Fosfatos naturais reativos e calcinados na fosfatagem da cana de açúcar				
Área de concentração:	Fitotecnia				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Hamilton Seron Pereira - UFU; Bruno Nicchio - UFU; Gustavo Alves Santos - KP Consultoria; Henrique Gualberto Vilela Penha - IFTM; Gaspar Henrique Korndorfer - UFU orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Gaspar Henrique Korndorfer, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Henrique Gualberto Vilela Penha, Usuário Externo**, em 31/05/2021, às 10:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gaspar Henrique Korndörfer, Usuário Externo**, em 31/05/2021, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Nicchio, Usuário Externo**, em 31/05/2021, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Alves Santos, Usuário Externo**, em 31/05/2021, às 14:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2740407** e o código CRC **417B5C37**.

DEDICATÓRIA

A Deus,
Pela vida, saúde e paz.

Aos meus pais, Eustáquio e Ivone (*in memoriam*),
Pela minha educação, formação humana
e por serem exemplos de coragem, sabedoria e fé.

Minha querida e amada esposa Larissa,
Eterna Namorada,
Pelo amor, companheirismo e apoio.

A minha irmã Daniella,
Pelo fraterno convívio e estímulo ao longo da vida.

As sobrinhas Julia e Carol,
Vocês mantem acesa a esperança no futuro.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus luz do meu caminho;

Aos meus pais, Eustáquio Antônio Gonçalves e Ivone Rodrigues (*in memoriam*), que são para mim o exemplo maior de dignidade e com muito esforço me apoiaram ao longo de toda minha jornada;

A minha esposa, Larissa Oliveira Alves, pela compreensão, amor e companheirismo;

A minha irmã, Daniella Rodrigues Gonçalves, pela inspiração, apoio e esperança;

Ao professor Dr. Gaspar Henrique Korndörfer, meu orientador, colega e amigo, pela oportunidade da pesquisa, ajuda e experiência compartilhada;

Ao colega Dr. Gustavo Alves Santos pelas orientações, apoio, oportunidade dada e por tudo o que isso representa, também pelo incentivo, ensino e exemplo de pessoa;

Ao professor Dr. Hamilton Seron Pereira, professor, colega e amigo, pela oportunidade de conduzir a pesquisa, pelas incontáveis ajudas, experiências compartilhadas e aconselhamentos;

Ao Dr. Bruno Nicchio e ao Dr. Henrique Gualberto Vilela Penha por terem aceitado o convite para participar da banca examinadora e pelas contribuições;

Aos colegas Camila Gualberto, Mariana Alves, Luizão, Artur e a todos os membros do Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura” (GPSi), pela ajuda sempre que necessária, pela amizade e pelos momentos de descontração;

Aos professores e colegas da pós-graduação, pelo convívio prazeroso e pelo conhecimento compartilhado;

As equipes da Usina Vale do Pontal e Usina Açucareira Guaira, pelo apoio na instalação, condução e avaliação dos experimentos;

Aos funcionários e técnicos do Laboratório de Análise de Solo (LABAS) e Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER), em especial ao João, pelo suporte dado.

Muito Obrigado!

*“O começo de todas as ciências
é o espanto de as coisas serem o que são”*

Aristóteles

RESUMO

GONÇALVES, DIOGO ARISTÓTELES RODRIGUES. **Fosfatos naturais reativos e calcinados na fosfatagem da cana-de-açúcar**. 2021. 70f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

Os solos tropicais apresentam elevada acidez, baixa saturação por bases, e baixa disponibilidade de nutrientes, como o fósforo (P). O P fornecido na adubação torna-se gradualmente indisponível, devido, à adsorção ao solo, o que gera recomendações de altas doses de P, elevando os custos de produção. Assim, fontes alternativas de P são pesquisadas, pois têm se mostrado capazes de competir com as fontes convencionais em eficiência e custo. O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência agrônômica de fontes de P aplicadas em área total antes do plantio da cana-de-açúcar. Foram utilizadas 6 fontes de fósforo na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sendo: FNR OCP Heringer, FNR OCP Heringer mais ácido húmico, termofosfato calcinado granulado e farelado, Fosfato Itafós e FNR Bayovar. Doses adicionais foram estabelecidas para: termofosfato calcinado granulado (50, 150, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e farelado (150 kg ha⁻¹ de P₂O₅); FNR OCP Heringer (50, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅); outro tratamento sem fosfatagem foi adicionado. Foi avaliada a disponibilidade de Ca, Mg, P e Si para o solo e nas plantas, o efeito na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar e o acumulado de produção. O termofosfato calcinado granulado aplicado a lanço apresentou resultados superiores em relação às demais fontes fosfatadas para a biometria da cana-de-açúcar. A produção de colmos e açúcar não foi afetada pelas doses de termofosfato calcinado ou fosfato natural reativo OCP nos dois locais, para nenhum dos cortes avaliados. A aplicação de termofosfato gera resultados positivos para o solo e a cana-de-açúcar; porém, nem todas as condições de aplicação do termofosfato vão gerar resultados significativamente superiores às demais fontes ou ao tratamento controle.

Palavras chave: Termofosfatos; Granulometria; Fósforo; *Saccharum* ssp.

¹Orientador: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

ABSTRACT

GONÇALVES, DIOGO ARISTÓTELES RODRIGUES. **Reactive natural phosphates and calcined in sugarcane phosphating**. 2021. 70f. Dissertation (Doctorate in Agronomy) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

Tropical soils have high acidity, low base saturation, and low availability of nutrients such as phosphorus (P). The P supplied in fertilization becomes gradually unavailable due to adsorption to the soil, which generates recommendations for high doses of P, increasing production costs. Thus, alternative sources of P are researched, as they have been shown to be able to compete with conventional sources in efficiency and cost. This study aimed to evaluate the agronomic efficiency of P sources applied to the total area before sugarcane planting. Six phosphorus sources were used at a dose of 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅: FNR OCP Heringer, FNR OCP Heringer plus humic acid, granulated and crumbly calcined thermophosphate, Phosphate Itafós and FNR Bayovar. Additional doses were established for: granulated calcined thermophosphate (50, 150, 200 kg ha⁻¹ P₂O₅) and bran (150 kg ha⁻¹ P₂O₅); FNR OCP Heringer (50, 150 and 200 kg ha⁻¹ P₂O₅); another treatment without phosphating was added. The availability of Ca, Mg, P and Si for the soil and plants, the effect on sugarcane yield and quality and the accumulated production were evaluated. The calcined granulated spreadable thermophosphate showed superior results compared to the other phosphate sources for sugarcane biometry. The production of stalks and sugar were not affected by the doses of calcined thermophosphate or OCP reactive rock phosphate in both places, for any of the evaluated cuts. The application of thermophosphate generates positive results for the soil and sugarcane; however, not all thermophosphate application conditions will generate results significantly superior to other sources or to the control treatment.

Keywords: Thermophosphate; Granulometry; Phosphorus; *Saccharum* ssp.

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	3
3. OBJETIVOS	5
4. REFERENCIAL TEÓRICO	6
4.1. Cultura da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	6
4.2. Nutrição das Plantas e Solo	7
4.3. O fósforo para a cultura da cana-de-açúcar	8
4.4. Fertilizantes fosfatados e sua eficiência agrônômica	9
5. MATERIAL E MÉTODOS	12
5.1. Caracterização da área experimental	12
5.2. Instalação do experimento – Usina Vale do Pontal	12
5.3. Instalação do experimento – Usina Guaíra	13
5.4. Caracterização dos fosfatos e delineamento experimental	14
5.5. Condução do experimento	15
5.6. Avaliações da cana-de-açúcar e solo	15
5.7. Análises estatísticas	17
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
6.1. Pressuposições da ANAVA	19
6.2. Análises conjuntas e Análises de regressões	20
6.2.1. Variáveis biométricas	24
6.2.2. Cálcio, magnésio, fósforo e silício no solo	30
6.2.3. Cálcio, magnésio, fósforo e silício na folha	35
6.2.4. Tonelada de cana e açúcar por hectare e açúcar total recuperável	42
7. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra de 2020/21 é estimada em 665,11 milhões de toneladas de cana, em áreas colhidas estimada de 8,61 milhões de hectares (CONAB, 2020), o que torna o Brasil o maior produtor e a maior área plantada dessa cultura no mundo. A importância da cultura canavieira para o Brasil vai além dos aspectos econômicos e historicamente tem gerado milhões de empregos diretos e indiretos.

A cana-de-açúcar tem diversas aplicações industriais, sendo a matéria prima na produção de açúcar, etanol, produção de energia (queima dos resíduos fibrosos), ração animal e fertilizantes como a vinhaça e torta de filtro destinada à produção de organominerais. A produção de etanol e de açúcar derivados da cana-de-açúcar é considerada uma das principais fontes do setor de biocombustíveis. Além destes produtos primários, os detritos da cana ainda podem ser utilizados na geração de energia elétrica, contribuindo para reduzir os custos de produção e aumentando a sustentabilidade da atividade (VIGNA, 2018).

A produção eficiente e sustentável da cultura da cana-de-açúcar está associada a uma nutrição adequada com plena disponibilidade de nutrientes (GUALBERTO et al., 2019; KORNDÖRFER, 2017). O fósforo (P) é um dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas participando de processos metabólicos (p.ex. fotossíntese) e da composição de moléculas orgânicas (p.ex. ATP). O P dos fertilizantes é obtido pela extração de rochas fosfáticas cujas principais fontes dessas rochas se encontram na China, Estados Unidos, Marrocos, Rússia, Tunísia, Brasil e Jordânia (PANTANO et al., 2016).

Em muitos solos brasileiro, especialmente nos solos do Cerrado, existe uma baixa disponibilidade natural do nutriente P. Esta realidade torna a adubação fosfatada essencial para elevadas produções nos solos do Cerrado. Outro aspecto desses solos é a grande presença de cargas positivas o que eleva a capacidade de fixação do P nos colóides do solo, o que termina por limitar sua absorção pelas plantas o que resulta na recomendação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados (ROY et al., 2016; SOUSA; LOBATO, 2004b).

A fim de disponibilizar o nutriente P para as plantas, mitigar o problema dos custos de fosfatos solúveis, reduzir a dependência de importação de fertilizantes fosfatados e para promover o aproveitamento dos recursos naturais que tem sido proposto o uso de fontes alternativas de P que o liberam gradativamente durante o ciclo da cultura. Dentre estas fontes alternativas estão os termofosfatos que são fontes de baixa solubilidade em água que recebem tratamentos térmicos para se tornarem capazes de competir com fontes fosfatadas

convencionais em eficiência e custo, além de diminuir a fixação de P no solo (FRANCISCO, 2006; HANSEL et al., 2014; KORNDÖRFER et al., 2004;).

Manter a cana-de-açúcar bem suprida com P consiste em um fator primordial para se alcançar altas produtividades; portanto, este estudo tem por objetivo avaliar o efeito de diferentes fertilizantes fosfatados e granulometrias no desenvolvimento da cana-de-açúcar. Os objetivos específicos desse estudo incluem: a avaliação das respostas biométricas da cana-de-açúcar (perfilhamento, diâmetro médio de colmos e altura média de plantas); a avaliação das análises de solo e folha para fósforo, cálcio, magnésio e silício, e, a avaliação das respostas de produção (tonelada de cana por hectare, açúcar total recuperável e tonelada de açúcar por hectare).

2. JUSTIFICATIVA

Os solos brasileiros são naturalmente ácidos e mineralogicamente abundantes em caulinita (argila de rede cristalina 1:1 entre $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$) e em óxidos hidratados de ferro (Fe) e alumínio (Al) que reagem com o P adicionado sendo capaz de fixá-lo e indisponibilizá-lo para as plantas (RAIJ, 2011). Adicionalmente, em condições de solo ácido o P reage mais rapidamente com o octaedro de alumínio em substituição de grupos OH^- na superfície dos minerais e com formas iônicas de Al e Fe formando complexos de baixa solubilidade (MCBRIDE, 1994; NOVAIS, SMYTH, 1999).

Após a dissolução dos fertilizantes fosfatados grande parte do P dissolvido é retido na fase sólida do solo, o que justifica as grandes quantidades de fósforo aplicadas ao solo para manutenção da disponibilidade adequada de P às culturas agrícolas. No entanto, grande parte desse P retido é aproveitada pelas plantas e a grandeza dessa recuperação depende de fatores como a espécie de planta cultivada, a textura e a granulometria do solo, e a forma de aplicação do fertilizante fosfatado (SOUSA, LOBATO, 2004a). E apesar da adubação fosfatada ser essencial, a forma de sua aplicação não proporciona alterações significativas na produtividade da cana de açúcar (MAGRO, GLÓRIA, 1985).

Apesar do P ser absorvido pela cana-de-açúcar em quantidades relativamente pequenas se comparado com o nitrogênio (N) e o potássio (K); no entanto, exerce essencial função na formação de proteínas e em processos como a divisão celular, respiração, fotossíntese e processos energéticos (KORNDÖRFER, 2004). A sacarose que é a matéria prima para a produção do açúcar e do álcool é formada a partir de composto fosfatado (glucose-1-fosfato) com a frutose durante o metabolismo da planta (ALEXANDER, 1973).

Como a cana-de-açúcar é uma cultura que permanecerá no campo por vários anos os fosfatos naturais reativos e termofosfatos podem ser mais eficientes neste mesmo em solos com alta capacidade de adsorção de P em solos ácidos (BENEDITO, 2007). Os fosfatos naturais são de menor custo e baixo aproveitamento em curto prazo devido à baixa reatividade e conseqüentemente à lenta liberação de P para as plantas (NOVAIS et al., 2007). Sousa, Rein e Lobato (2008) reportaram que em períodos superiores a 3 anos o efeito residual dos fosfatos naturais reativos de menor solubilidade foram similares ou superiores ao superfosfato triplo e aos fosfatos reativos de solubilidade maior.

O termofosfato tem se destacado em áreas com cana-de-açúcar como fonte de P e também devido à presença de outros elementos essenciais e benéficos como o silício (Si) em sua composição podendo aumentar o desempenho da cultura a campo e a produtividade da

cana-de-açúcar (KORNDÖRFER, 2004). O surgimento de fontes alternativas de P como os termofosfatos requer rochas fosfatadas com baixa quantidade de impurezas metálicas. Este nível de pureza fez com que grandes quantidades de material fosfórico fossem descartadas pelas indústrias. Contudo, esses materiais começaram a ser trabalhados e se transformaram nas fontes alternativas de fósforo (FRANCISCO, 2006).

A rocha fosfatada libera íons ortofosfato (PO_4^{3-}) decorrentes da solubilização do material apatítico primário e estes íons reagem com demais íons formando minerais secundários como a crandallita, milisita e a wavelita que são fosfatos aluminosos. Estes fosfatos aluminosos contêm grande quantidade de alumínio e de outras impurezas minerais sendo considerados impróprios para a acidulação (HOARE, 1980). Os fosfatos aluminosos começaram então a serem tratados termicamente (calcinação), o que elevou a solubilidade do P em citrato neutro de amônio (GILKES, PALMER, 1979).

Desde então o termofosfato calcinado como fonte alternativa de P tem elevado sua importância no mercado de fertilizantes fosfatados devido a apresentar uma boa relação custo × eficiência, e se inserir no contexto de aproveitamento dos recursos naturais utilizados nos processos convencionais de fontes solúveis de fósforo (NOLLA et al., 2018). Outro aspecto que favorece o uso de fontes de fosfato tratadas termicamente é que as fontes fosfatadas aciduladas dependem da importação de enxofre (S), matéria prima do ácido sulfúrico utilizado no processamento das rochas fosfatadas, o que onera os custos de fabricação dessas fontes solúveis e torna a produção vulnerável a importação de S.

3. OBJETIVOS

O presente estudo teve por objetivo avaliar diferentes fertilizações fosfatadas incluindo o termofosfato calcinado na disponibilização de P e outros nutrientes para o solo, para a absorção pela cana-de-açúcar e o efeito dessas fertilizações em variáveis de produção com o intuito de identificar a(s) melhor(es) fonte(s) e dose(s) para gerar os melhores resultados possíveis.

Os objetivos específicos deste estudo com diferentes fontes e doses de fertilizantes fosfatados incluem:

- Mensurar as respostas biométricas da cana-de açúcar (perfilhamento, diâmetro médio de colmos e altura média de plantas);
- Aferir os teores de fósforo, cálcio, magnésio e silício no solo e na folha;
- Avaliar as respostas de produção (tonelada de cana por hectare, açúcar total recuperável e tonelada de açúcar por hectare), e;
- Identificar o melhor manejo da adubação fosfatada estudado para a cultura da cana-de-açúcar.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)

A cana-de-açúcar é uma espécie originária do sudeste asiático e pertence ao gênero *Saccharum* L. (Poaceae). Este gênero possui seis espécies principais: *Saccharum officinarum* (maior teor de sacarose), *Saccharum robustum* e *Saccharum spontaneum* (espécies selvagens), (*Saccharum barberi*, *Saccharum sinensis* e *Saccharum edule*); a cana cultivada comercialmente é um híbrido multiespecífico (DINARDO-MIRANDA, VASCONCELOS, LANDEL, 2008; FIGUEIREDO, 2010). A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais cultivadas, sendo responsável pela maior parte da produção do açúcar mundial (MENDONÇA, 2019).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil também é incentivada devido ao potencial dessa cultura para substituir os combustíveis fósseis via a produção de álcool (biocombustível). A energia produzida pela cana-de-açúcar é uma energia renovável que reduz a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera além de converter o carbono atmosférico em carbono orgânico na formação de biomassa da planta (HUGHES et al., 2018).

A cana-de-açúcar é uma planta pertencente à família Poaceae que inclui as plantas de aparato fotossintético C4, são gramíneas alógomas de reprodução sexuada que podem se propagar assexuadamente (propagação vegetativa). A escolha adequada de genótipos e do período de multiplicação reflete na brotação após o plantio, resultando numa lavoura sadia e vigorosa. O plantio pode ser realizado pelo método manual, semi-mecanizado e mecanizado (CAIEIRO et al., 2010; SILVA et al., 2010), havendo ainda o plantio do colmo inteiro da cana-de-açúcar ou de mudas em tubetes.

O ciclo da cana-de-açúcar dura em torno de 360 dias e se divide em quatro estágios fenológicos: fase de brotação e estabelecimento da cultura, fase de perfilhamento (final da brotação até 120 dias após o plantio), fase do desenvolvimento vegetativo e crescimento dos colmos (após o fim do perfilhamento até 270 dias após o plantio), e fase de maturação onde ocorre a síntese e o acúmulo de açúcar (após a maturação até a colheita, cerca de 360 dias após o plantio) (DIOLOA; SANTOS, 2012).

4.2. Nutrição das Plantas e Solo

A extração de nutrientes do solo pela cana-de-açúcar varia com o método de cultivo, a variedade, a classificação do solo e a disponibilidade de nutrientes assimiláveis; porém, a seguinte ordem para macronutrientes tem sido observada $K > N > Ca > Mg > S > P$ (MAEDA, 2009). E para obter resultados significativos de produção, todos os nutrientes devem estar disponibilizados em quantidades adequadas (REETZ, 2017).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil regularmente recicla uma considerável parcela dos nutrientes aplicados para o cultivo dessa cultura. Essa reciclagem se processa pela aplicação dos resíduos das usinas como a vinhaça e a torta de filtro (DATACANA, 2019). Contudo, com o desenvolvimento de tecnologias de produção e o surgimento de genótipos de elevada demanda elevou o consumo de fertilizantes para corresponder às produtividades potenciais e sistemas de cultivo.

Os solos brasileiros não apresentam quantidades naturais suficientes de nutrientes durante o ciclo das culturas sendo necessária a aplicação de fertilizantes nas recomendações adequadas para cada cultura e potencial produtivo. O P é um nutriente repostado ao solo com frequência e está disponível em muitos fertilizantes no mercado (SÉKULA, 2011; SCHUELEUR et al., 2019); porém, a produção nacional dos fertilizantes fosfatados não é suficiente para atender toda demanda interna nacional (SCHUELER; DOURADO; RIZZO, 2019).

Os solos comumente encontrados em áreas de produção de cana-de-açúcar são solos tropicais, intemperizados, de elevada acidez, baixa saturação por bases e limitada fertilidade natural, geralmente inseridos no bioma Cerrado. Em solos com estas características há ainda o agravante da elevada fixação e imobilização do P aplicado via fertilizantes minerais. O fenômeno da adsorção do P ao solo é um processo de retenção do P na superfície das partículas do solo devido principalmente a reações com ferro, alumínio e cálcio (SOUSA; LOBATO, 2004b).

O P absorvido pelas plantas é aquele presente na solução do solo sendo que adição de fertilizante solúvel visa aumentar a sua presença na solução e evitar a sua adsorção aos colóides do solo (parte sólida do solo) se tornando um P não-lábil. O P na solução do solo pode precipitar com o cálcio, magnésio, ferro e o alumínio, limitando a eficiência dos fertilizantes aplicados no solo (RAIJ, 2011; ROSSETO et al., 2010). Uma vez aplicado ao solo a sua movimentação ocorre por difusão e quanto maior for sistema radicular das plantas maior será a área de absorção de P da solução.

4.3. O fósforo para a cultura da cana-de-açúcar

Os solos do Cerrado naturalmente apresentam baixos teores de P e a sua fertilização com fontes fosfatadas é uma prática recorrente para melhores produtividades. As recomendações de adubação fosfatadas para a cana-de-açúcar são elevadas e aplicadas no sulco durante o plantio e em área total na manutenção ou reforma do canavial onde o P deve ser disponibilizado na forma solúvel e assimilável pela planta (PENATTI, 2013; REIN et al., 2015; SOUZA Jr, 2016).

Devido a esse natural processo de fixação do P no solo são necessárias grandes quantidades de adubos fosfatados; contudo, mesmo sendo aplicado em grandes quantidades o P ainda é altamente fixado ao solo, havendo recuperação de apenas 5 a 20% do P aplicado em um ano agrícola o que onera os custos de produção (ARAÚJO; MACHADO, 2007).

Ribeiro et al (2015) avaliaram dois níveis de adubação mineral em cana-de-açúcar e não identificaram diferenças para adubações em dosagem elevada e concluíram que a adubação básica recomendada foi a economicamente viável. Caione et al. (2011) observaram que a ausência de adubação fosfatada limita o perfilhamento e a altura das plantas de cana. No entanto Vale et al. (2011) relataram menor crescimento das plantas e conseqüentemente menor produção de massa seca e menor desenvolvimento das raízes.

Korndörfer e Melo (2009) observaram que o incremento da quantidade de P no solo afetou positivamente a produção de colmos. Entretanto, Dantas Neto et al. (2006), observaram que altas doses de fertilizantes minerais em cana-soca geraram os melhores resultados em relação às doses recomendadas. Contudo, a adubação fosfatada de cobertura em cana-soca em solos argilosos e intemperizados não promoveu incrementos significativos de produtividade (COSTA et al., 2014).

Portanto, para o bom desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, de seu sistema radicular, até mesmo para aumentar a longevidade do canavial, é necessária que a recomendação básica de nutrientes e o manejo da aplicação desses nutrientes sejam adequados para altas produtividades do canavial (BUSATO, CANELLAS, VELLOSO, 2005; DEMATTÊ, 2005; MAZZA et al., 1994; VITTI, MAZZA, 2002). Apesar do P ser o macronutriente primário menos exportado pela cana-de-açúcar (GOMES, 2003; MAEDA, 2009; ROSSETO, DIAS, 2005; TASSO JÚNIOR, 2007;), a sua baixa disponibilidade nos solos interfere negativamente no desenvolvimento da planta e resulta em menor produtividade. A absorção de P pelas plantas ocorre majoritariamente como íon ortofosfato primário ($H_2PO_4^-$) e alternativamente ser absorvido, em menor parte, como íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}) (RAIJ, 2011).

A presença do P nas plantas é indispensável para a fotossíntese, o desenvolvimento de novos tecidos meristemáticos novos, a divisão celular, a respiração, e é parte estrutural do difosfato e trifosfato de adenosina (ADP e ATP), de fosfoproteínas e fosfolípidos. Plantas de cana-de-açúcar cultivadas em condições de deficiência de P apresentam folhas amareladas passando posteriormente para um arroxeadado, estreitamento e encurtamento das folhas mais velhas, folhas com pouco brilho, menor diâmetro de colmo e altura, encurtamento dos entrenós, baixo perfilhamento e dormência das gemas laterais (MALAVOLTA, 2006).

O fornecimento de P em quantidade adequada favorece o enraizamento, o perfilhamento da cana-de-açúcar e a absorção dos nutrientes da solução do solo (ORLANDO FILHO, MACEDO, TOKESHI, 1994; RAMOS, 2013). O P também é importante para o processo de fermentação alcoólica na usina, colaborando para a transformação do açúcar em etanol devido à sua ação positiva sobre o desenvolvimento das leveduras (CALHEIROS et al., 2011).

4.4. Fertilizantes fosfatados e sua eficiência agrônômica

O Brasil produz cerca de 3% de todos fertilizantes fosfatados utilizados no mundo, e por isso, apresenta elevada dependência da importação de fertilizantes fosfatados de grandes produtores como China, Estados Unidos, Marrocos e a Rússia, que juntos correspondem cerca de 67% da produção mundial (LOPES, SILVA, BASTOS, 2004; SCHUELER; DOURADO; RIZZO, 2019). Segundo Prochnow et al. (2004), as principais fontes de fósforo para a agricultura são os (i) fosfatos naturais (apatita triturada), os (ii) termofosfatos (obtidos em processos térmicos), os (iii) fosfatos parcialmente acidulados e os (iv) fosfatos totalmente acidulados.

A principal fonte de fósforo viável para o uso na agricultura é a rocha fosfática e não há outras fontes viáveis para sua substituição (SCHUELER; DOURADO; RIZZO, 2019). Outro aspecto restritivo das fontes de P é o fato de nem todas as jazidas de rocha fosfatada têm qualidade para uso agrícola; por exemplo, as rochas fosfatadas que estão no Triângulo Mineiro e Goiás são de qualidade inferior para o uso agrícola devido à origem de rochas fosfáticas insolúveis (P_2O_5 na rocha é insolúvel em água), e são rochas que precisam passar por processos de acidulação para tornar o P disponível para as plantas.

As jazidas de rochas fosfatadas cujo P_2O_5 é solúvel são de origem sedimentar (deposição e decomposição de restos de seres marinhos) e sua reatividade no solo é maior permitindo às plantas terem acesso ao P mais rapidamente por serem fosfatos naturais reativos. Entre as rochas sedimentares destacam-se o fosfato Arad, Carolina do Norte, Gafsa (BRAGA,

2010) e Marrocos, que são rochas de elevada porosidade que quando aplicadas no solo causam a liberação lenta do P e consequente redução da fixação do P nos coloides do solo quando comparadas com os fosfatos solúveis (HERINGER FERTILIZANTES, 2020).

As principais fontes agrícolas solúveis de P a partir de rochas fosfatadas são os fosfatos naturais de diferentes origens [p.e. Marrocos (origem sedimentar), Araxá (origem metamórfica - apatita)] fosfatos totalmente acidulados [superfosfato simples (SFS) e superfosfato triplo (SFT)], os fosfatos de amônio [monoamônio fosfato (MAP) e diamônio fosfato (DAP)] obtidos por acidulação total e os termofosfatos. As fontes solúveis de P são mais reativas, apresentam elevada disponibilidade inicial de P para as plantas e alta eficiência agrônômica (SANTOS, et al., 2008). As propriedades do fertilizante, as características do solo, as práticas de manejo e a espécie cultivada são os fatores que mais afetam a eficiência dos fertilizantes fosfatos solúveis (CHIEN et al., 1990).

Barbosa (2020) observou que os fertilizantes fosfatados solúveis (SFS, SFT e MAP) foram os que proporcionaram as maiores produtividades de grãos de soja e que a aplicação de fosfato natural reativo (Marrocos) também elevou os teores de P lábil do solo, porém, mesmo após quatro safras não aumentaram significativamente de produtividade da soja. Nascimento et al. (2019) avaliaram o desenvolvimento inicial do milho cultivado com fosfato natural reativo de Arad e SFS mais micronutrientes em um Latossolo Amarelo, e observaram melhores respostas fitométricas do milho quando SFS foi aplicado com e sem micronutrientes.

Os fosfatos parcialmente acidulados e os fosfatos naturais (p.e. Arad, Gafsa, Bayovar, Araxá) são outra fonte comum de P para agricultura e são obtidos pela moagem da rocha fosfática com reatividade e eficiência agrônômica relativa dependente da mineralogia da rocha (EMBRAPA, 2007; PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004). A pronta disponibilidade de P dos fosfatos parcialmente acidulados é maior que dos fosfatos naturais e menor que dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados. Esta característica foi observada por Veloso et al. (2016) que avaliaram as respostas do milho fertilizado com SFS, SFT e fosfato reativo de Bayovar. Os autores observaram maior produtividade de grãos de milho com aplicação de ST e maiores teores foliares de P quando SFS e SFT foram aplicados demonstrando que fontes de alta reatividade e solubilidade contribuem mais para o rendimento imediato das culturas.

Outras associações estudadas para aumentar a reatividade e disponibilidade do P em fertilizantes fosfatados através da mistura com enxofre elementar (S^0) e têm apresentados resultados promissores para a disponibilidade do P no solo e o aumento da produção de colmos e de açúcar da cana-de-açúcar (NICCHIO, 2018).

Outra importante alternativa de fertilizante fosfatado são os termofosfatos, ou fosfatos calcinados, que são rochas fosfatadas que passaram por tratamento térmico (aquecimento entre 600 e 1500 °C) e adição de compostos magnesianos e silicatados (TOLEDO, 1999; HANSEL et al., 2014). Os fosfatos aluminosos (grupo crandallita) tratados termicamente apresentam elevada solubilidade do P em citrato neutro de amônio (GILKES, PALMER, 1979) e o conveniente de não solubilizar o alumínio que a acidulação por via úmida (comum para fosfatos apatíticos) causaria (FRANCISCO, 2016).

Os termofosfatos são também fertilizantes que auxiliam na correção da acidez do solo, apesar de sua lenta solubilidade, e ainda apresentam significativos teores de macronutrientes secundários (Mg e Ca) e de micronutrientes como Mn, Fe e Si (FRANCISCO, 2006). A reação do termofosfato com a acidez do solo de regiões tropicais faz com que o P presente nos termofosfatos se torne ainda mais disponível para as plantas.

A eficácia agronômica dos fertilizantes fosfatados está associada à sua solubilidade, tipo de solo, época da aplicação, e à forma e uniformidade da distribuição do fertilizante. Estes fatores ainda interagem com a umidade do solo, a espécie cultivada e com o manejo da lavoura que podem em associação causar a perda de nutrientes e dos recursos investidos (GOEDERT; LOBATO, 1980; SOUSA; LOBATO, 2004a; SOUZA FILHO, 2014). Portanto, a definição da fonte de P se baseia principalmente na eficiência desta em suprir o P para as plantas e na relação custo-benefício da adubação fosfatada para o processo produtivo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área experimental

Os experimentos desse estudo foram instalados em duas áreas (Usina Vale do Pontal e Usina Guáira), ambos foram conduzidos em solos e climas (quente e úmido no verão, frio e seco no inverno) típicos de Cerrado. Em ambas as áreas o solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico (LVAd) para usina Vale do Pontal (ambiente de produção C) e LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd), na usina Guáira (ambiente de produção B) (EMBRAPA, 2009),.

A análise textural do solo na Usina Vale do Pontal indicou 73, 5 e 22% de areia, silte e argila, respectivamente, e 13, 33 e 53% na Usina Guáira, respectivamente. A análise química dos solos nas duas áreas experimentais antes da implantação dos experimentos é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterização química do solo das áreas experimentais nas usinas Vale do Pontal e Guáira na profundidade de 0 a 0,2 m (julho/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 -----					
Usina Vale do Pontal															
5,3	11,7	112	21	2,6	1,0	0	3,9	5,6	70	0,1	1,0	15	13,6	2,2	1,8
Usina Guáira															
5,7	2,7	114	22	3,6	1,1	0	4,9	6,9	71	0,6	7,9	42	33	1,0	3,0

pH: CaCl₂; P, K: Mehlich-1; S: Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹; Al, Ca, Mg: KCl 1 mol L⁻¹; MO (matéria orgânica do solo, dag dm⁻³): K₂Cr₂O₇; B: BaCl₂. Cu, Fe, Mn, Zn: DTPA; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7; V: saturação por bases (EMBRAPA, 2017).

5.2. Instalação do experimento – Usina Vale do Pontal

O primeiro experimento foi em área de produção comercial com plantio de reforma da Usina Vale do Pontal localizada em Limeira do Oeste, Minas Gerais. Em abril de 2017 os tratamentos foram aplicados a lanço e incorporados ao solo com grade intermediária seguidos pela sulcação e o plantio da cana-de-açúcar.

O plantio foi realizado dois dias após a aplicação, com 300 kg ha⁻¹ de MAP, 8,0 L ha⁻¹ do nematicida Rugby®, 200 g ha⁻¹ do inseticida Albatross®, 1,0 L ha⁻¹ do fungicida Opera® e 0,5 L ha⁻¹ do enraizador Ethrel®.

A variedade de cana-de-açúcar cultivada foi a RB 988082. Esta variedade apresenta excelente fechamento das entrelinhas, elevada produtividade agrícola, boa velocidade de crescimento, porte ereto, boa resposta à irrigação e ao uso de maturador e médio teor de sacarose.

5.3. Instalação do experimento – Usina Guaira

O segundo experimento foi em área de produção comercial com plantio em área de expansão da Usina Guaira localizada em Guaira, São Paulo. Em março de 2017 os tratamentos foram aplicados a lanço e incorporados ao solo com grade intermediária (Figura 1A).

O plantio das mudas pré-brotadas (MPB) (Figura 1B) foi realizado no dia 23 de maio de 2017 (60 dias após a aplicação) com 200 kg ha⁻¹ de 10-49-00 (N, P₂O₅, K₂O), 0,34 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio, 0,5 L ha⁻¹ do fungicida Comet®, 0,5 L ha⁻¹ do bioestimulante Biozyme®, 0,1 L ha⁻¹ de Hinofix® e 0,2 kg ha⁻¹ do inseticida Albatross®.



FIGURA 1 - Incorporação ao solo com grade intermediária dos tratamentos com fertilizantes fosfatados (A). Plantio das mudas de cana-de-açúcar (B).

Fonte: GPSi

A variedade de cana cultivada foi a CTC 9003 (plantio em sistema de mudas pré-brotadas - MPB). Esta variedade apresenta riqueza e precocidade, alto perfilhamento e boa adaptação ao plantio mecanizado.

5.4. Caracterização dos fosfatos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com 6 fontes (Tabela 2) e quatro repetições ($n = 56$). Esta configuração de condução experimental se repetiu na mesma área por duas safras consecutivas (corte da cana-planta e cana-soca) e nas duas usinas (Vale do Pontal e Guáira).

TABELA 2. Descrição dos fertilizantes fosfatados utilizados no estudo do desenvolvimento da cana-de-açúcar. UFU – Uberlândia - MG, 2021.

Fonte	P ₂ O ₅ água	P ₂ O ₅ CNA	P ₂ O ₅ á.c.	P ₂ O ₅ total	Si total
Termofosfato calcinado (granulado e farelado)	< 1%	19%	5,7%	23%	6,2%
FNR OCP Heringer			10%	30%	
FNR OCP Heringer + Á.H.			14%	30%	
Fosfato natural Itafós			7%	24%	
FNR Bayovar			14%	29%	

Á.H.: ácido húmico. CNA: citrato neutro de amônio. á.c.: ácido cítrico 2%. Termofosfato calcinado: 4% Ca e 1% Mg; FNR (fosfato natural reativo): 25% Ca; 0,6% Mg. Itafós: 13% Ca. Bayovar: 32% Ca.

Os tratamentos (14) foram implementados com base no teor total de P presente na fonte, sendo:

- ✓ 50, 100, 150, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (total) como termofosfato calcinado granulado;
- ✓ 50, 100, 150, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (total) como FNR OCP Heringer;
- ✓ 100, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (total) como termofosfato calcinado farelado;
- ✓ 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (total) como FNR OCP Heringer mais ácido húmico;
- ✓ 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (total) como Fosfato Itafós;
- ✓ 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (total) como FNR Bayovar, e;
- ✓ Tratamento controle (sem a adição de fertilizantes).

Cada parcela experimental foi composta por cinco (5) linhas de plantio de cana-de-açúcar espaçadas em 1,5 m, com 15 m de comprimento, totalizando 112,5 m² por parcela experimental. Foi feito um corredor de 3 m sem plantio de cana-de-açúcar entre as parcelas,

para separá-las. Na usina Guaíra uma linha (1,5 m) foi desconsiderada entre os blocos com o objetivo de reduzir eventuais problemas de contaminação resultantes da operação de gradagem.

5.5. Condução do experimento

Os dois experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas de 2017 a 2019 (primeiro ano de cana-planta e no segundo ano de cana-soca). A condução e manutenção do experimento incluindo o manejo nutricional e fitossanitário foram realizados pela equipe da usina, de acordo com o manejo recomendado para a área sem interferência desuniforme nas parcelas experimentais.

5.6. Avaliações da cana-de-açúcar e solo

Para a avaliação das variáveis estudadas não foram avaliadas as plantas das linhas laterais das parcelas. O perfilhamento da cana-de-açúcar foi avaliado em 15 metros lineares sem falhas nas três linhas centrais da parcela em março de 2018 e fevereiro de 2019, e em fevereiro 2018 e fevereiro 2019, respectivamente para as usinas Vale do Pontal e Guaíra.

Juntamente foi realizado a coleta das amostras de folha para a análise de P, Ca, Mg e Si, que foram compostas pelo terço médio de 10 folhas (primeira folha da planta com o *dewlap* visível) e posteriormente foram retiradas a nervura central de cada folha e acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa de circulação de ar (65 °C até peso constante) – coleta na mesma data de contagem dos perfilhos. As amostras secas foram moídas em moinho tipo Willey sendo posteriormente submetido a análises laboratoriais segundo metodologia descrita pela SILVA (2009) para P, Ca e Mg, e segundo metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004) para Si foliar.

No dia da colheita da cana-planta e soca, cinco colmos foram amostrados em cada parcela para avaliar o diâmetro do sexto entrenó (mm) e a altura de planta (m) que foram estimado com o auxílio de um paquímetro e trema, respectivamente.

A produtividade de colmos por hectare (TCH) foi estimada em abril de 2018 e junho de 2019, e determinada pelo corte manual de 3 m (sem quaisquer falhas de brotação) em cada uma das 3 linhas centrais da parcela resultando em 9 m lineares por parcela experimental na Usina Vale do Pontal. Na Usina Guaíra a avaliação ocorreu em julho de 2018 e julho de 2019 com o corte completo das 3 linhas centrais (45m lineares). Após o corte dos colmos, estes foram despontados e o excesso de palha foi retirado.

A pesagem dos colmos ocorreu com o auxílio de uma balança acoplada a um tripé de sustentação (Figura 2A) para Usina Vale do Pontal e com auxílio de uma carregadeira. O peso de colmos obtido foi extrapolado para $t\ ha^{-1}$ gerando a variável TCH (toneladas de colmo por hectare).



FIGURA 2. Tripé de sustentação para pesagem dos colmos de cana-de-açúcar (A). Colmos de cana-de-açúcar cortados para a pesagem (B).

Fonte: GPSi

Para a realização das análises tecnológicas da cana-de-açúcar (qualidade da matéria prima), foram aleatoriamente amostrados 10 colmos dentre os colmos cortados para a pesagem (Figura 2B). O material coletado foi submetido à análise tecnológica no laboratório da respectiva usina e segundo as metodologias descritas pelo CONSECANA (2006).

No laboratório foi determinada a Pol (porcentagem de oligossacarídeos) ou sacarose aparente (%) do caldo da cana-de-açúcar. O açúcar total recuperável (ATR) foi estimado a partir da porcentagem de oligossacarídeos (Pol) e dos açúcares redutores ($AR = 3,6410 - 0,0343 \times$ pureza do caldo) - glicose e frutose - presentes segundo metodologia descrita pelo CONSECANA (2006).

A partir dos resultados da produção de colmos por hectare (TCH) e dos valores de ATR da cana-de-açúcar foram calculados os valores de produção de açúcar por hectare (TAH) de cada tratamento.

As amostras de solo foram coletadas após a colheita, em julho de 2018 e setembro de 2019 na Usina Vale do Pontal e em julho de 2018 e agosto de 2019 na Usina Guaira, sendo a profundidade das amostras de solo de 0 a 20 cm de profundidade, amostrando-se dois pontos em cada uma das três linhas centrais (6 amostras simples), formando assim uma amostra composta por parcela experimental. Os pontos de coleta foram selecionados a aproximadamente 20 cm da linha de plantio.

As amostras de solo foram analisadas para Si disponível no solo (extrator CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) segundo metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004), e para Ca, Mg e P (Mehlich¹) seguindo metodologia descrita por Silva (2009).

5.7. Análises estatísticas

O conjunto de dados foi inicialmente testado para atendimento às pressuposições do modelo de análise de variância (ANAVA): normalidade de distribuição dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente, ambos a 0,01 de significância ($p > 0,01$), utilizando-se o programa SPSS 17.0 (SPSS, 2008). Nesta etapa foi checada a ocorrência de *outliers* no conjunto de dados através de gráfico boxplot de cada variável. A ANAVA pertinente foi então executada nos dados resultantes.

Os resultados dos cortes consecutivos obtidos em cada usina foram comparados através de análise conjunta pelo teste de médias de Tukey ($p < 0,05$) sempre que a relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo fosse inferior a sete (7). A análise conjunta entre os dois cortes consecutivos foi com o objetivo de avaliar os efeitos dos tratamentos do primeiro para o segundo corte a fim de identificar possíveis efeitos residuais ou acumulativos dos tratamentos com as diferentes fontes fosfatadas com diferentes teores de P total. Para esta análise utilizou-se do programa estatístico GENES® (CRUZ, 1997).

As médias dos tratamentos em cada safra e a média das produções acumuladas das duas safras (cana-planta mais cana-soca) foram comparadas pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$). A granulometria das fontes (granulado vs. farelado vs. pó) também foi avaliada por contrastes de Scheffé ($p < 0,05$). Para estas análises utilizou-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

O estudo das doses do termofosfato calcinado (granulado) e do fosfato natural reativo (pó) também foi realizado a partir de análise variância ($p < 0,05$) e de análises de regressões polinomiais ($p < 0,05$ e $R^2 > 0,70$). Os resultados de regressões polinomiais adequadas foram apresentados como gráficos ortogonais. Para essa análise foi utilizado o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Pressuposições da ANAVA

O atendimento às pressuposições do modelo de análise de variância é pré-requisito para elevar a eficiência e validade da própria análise de variância. Os resultados das pressuposições para as variáveis avaliadas em ambos os cortes (cana-planta e cana-soca) e em ambas as áreas são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Estatística da normalidade de distribuição dos resíduos (Teste de Kolmogorov-Smirnov) e da homogeneidade das variâncias (Teste de Levene) para as variáveis avaliadas em ambas as áreas e em ambos os cortes da cana-de-açúcar.

Variáveis	Usina Vale do Pontal				Usina Guaira			
	Cana-planta		Cana-soca		Cana-planta		Cana-soca	
	K.S.	L.	K.S.	L.	K.S.	L.	K.S.	L.
Perfilhos	0,103	1,936	0,092	2,259	0,153**	3,045**	0,096	0,801
Diâmetro	0,077	1,389	0,073	1,170	0,126	2,448	0,161	2,419
Altura	0,113	4,102**	0,087	1,298	0,100	1,507	0,081	2,229
Ca.s	0,111	3,579**	0,123	2,085	0,076	1,308	0,118	1,961
Mg.s	0,131	0,870	0,073	1,245	0,107**	1,788	0,101	0,823
P.s	0,151**	1,716	0,093	4,923**	0,142**	1,654	0,088	2,425
Si.s	0,115	1,385	0,065	0,871	0,096	2,575	0,090	1,187
Ca.f	0,118	1,516	0,094	3,363**	0,064	1,226	0,084	2,042
Mg.f	0,115	1,767	0,132	1,589	0,202**	1,366	0,119	1,095
P.f	0,073	1,701	0,084	1,327	0,105	2,446	0,069	1,311
Si.f	0,090	0,899	0,101	1,521	0,138	1,403	0,093	1,420
TCH	0,108	2,681**	0,112	1,876	0,131	1,980	0,118	2,158
TAH	0,104	1,474	0,113	1,199	0,093	2,300	0,194**	2,520
ATR	0,081	2,449	0,119	1,926	0,101	1,483	0,098	1,468

K.S.: Kolmogorov-Smirnov; L.: Levene; **: $p < 0,01$.

Variáveis: Perfilhos: quantidade de perfilhos de cana por metro linear de plantio; Diâmetro: diâmetro de colmo no terço médio (milímetro); Altura: altura de planta do nível do solo à ponta da última folha (metro); Ca.s: cálcio no solo (cmolc dm^{-3}); Mg.s: magnésio no solo (cmolc dm^{-3}); P.s: fósforo no solo (mg dm^{-3}); Si.s: silício no solo (mg dm^{-3}); Ca.f: cálcio na folha (g kg^{-3}); Mg.f: magnésio na folha (g kg^{-3}); P.f: fósforo na folha (g kg^{-3}); Si.f: silício na folha (g kg^{-3}); TCH: tonelada de cana por hectare (t ha^{-1}); TAH: tonelada de açúcar por hectare (t ha^{-1}); ATR: açúcar total recuperável (kg t^{-1} de cana).

Os dados das variáveis que não atenderam ($p < 0,01$) a alguma pressuposição do modelo de ANOVA (normalidade dos resíduos ou homogeneidade das variâncias) foram transformados em “raiz de $x + 1$ ”; contudo, após a referida transformação apenas o teor de P no solo na cana-planta da Usina Vale do Pontal atendeu à pressuposição ($p > 0,01$) de normalidade dos resíduos (estatística K.S. do P no solo transformado: 0,134). Esta avaliação do P no solo para os diferentes tratamentos na cana-planta da Usina Vale do Pontal foi por meio de estatística aplicada aos dados transformados; a avaliação das demais variáveis não corrigidas pela transformação dos dados foi por meio de estatística aplicada aos dados originais.

O não atendimento de pressuposições pode indicar a ocorrência de *outliers* que foram identificados na avaliação dos gráficos boxplot e não foram removidos ou valores estimados pelo método dos mínimos quadrados. A substituição de *outliers* por valores médios representativos (*data cleaning*) é aplicada para a identificação de dados processados incorretamente ou variações e inconsistências não previstas ou incontroláveis que podem afetar a análise de variância e conseqüentemente o significado das respostas observadas (VERMA, ABDEL-SALAM, 2019).

No entanto, a maioria das variáveis em ambos os cortes (cana-planta e cana-soca) e em ambas as áreas (Usina Vale do Pontal e Guaíra) atenderam às pressuposições das análises de variância ($p > 0,01$) indicando que o conjunto de dados estava adequado para as avaliações e conclusões.

6.2. Análises conjuntas e Análises de regressões

Na primeira avaliação comparativa dos resultados observados foi processada a análise conjunta entre os cortes consecutivos (cana-planta e cana-soca) em cada área (Usina Vale do Pontal e Guaíra); porém não foi realizada análise conjunta entre as áreas devido a diferenças entre as variedades de cana-de-açúcar cultivadas (RB 988082 e CTC 9003), entre os sistemas de plantio e mesmo entre as quantidades de fertilizantes aplicados no plantio.

As respostas das variáveis às doses (50, 100, 150, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) das fontes termofosfato calcinado (granulado) e FNR OCP (pó) foram avaliadas através de modelos regressões em dois cortes consecutivos na cana de açúcar (Tabela 4). As respostas das variáveis (perfilhos, diâmetro de colmo, altura de planta, Ca, Mg, P e Si no solo e na folha, TCH, TAH, ATR) também foram variadas em relação à identificação de modelos polinomiais que se adequassem ao conjunto de dados ($p < 0,05$ e $R^2 > 0,70$).

TABELA 4. Análise de variância (estatística *F*) e modelos polinomiais adequados às doses (variável independente) de termofosfato calcinado (granulado) e FNR OCP (pó) em áreas distintas (usinas Vale do Pontal e Guairá) em dois cortes consecutivos (cana-planta e cana-soca) para as variáveis (dependentes) estudadas.

Fonte de Variação ^{gl}	Usina Vale do Pontal					Usina Guairá				
	Termofosfato calcinado		FNR OCP			Termofosfato calcinado		FNR OCP		
	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S		Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	
----- Perfilhos -----										
Dose	4	1,320 ^{ns}	3,149 ^{ns}	1,437 ^{ns}	0,459 ^{ns}	0,174 ^{ns}	0,871 ^{ns}	0,972 ^{ns}	0,848 ^{ns}	
Bloco	3									
CV (%)		8,63	8,41	5,57	19,28	6,99	5,67	6,64	6,40	
Média		9,88	18,87	9,76	19,33	21,44	25,67	21,08	25,34	
Modelo	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²
Linear	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quadrático	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
----- Diâmetro -----										
Dose	4	0,306 ^{ns}	0,851 ^{ns}	0,174 ^{ns}	4,232*	8,070**	7,303**	2,088 ^{ns}	0,132 ^{ns}	
Bloco	3									
CV (%)		5,53	4,50	6,26	3,30	4,17	2,11	5,42	4,51	
Média		30,47	29,10	30,36	28,75	27,67	25,37	27,29	25,31	
Modelo	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²
Linear	-	-	-	-	-	ns 0,2048	** 0,5918	ns 0,0641	-	-
Quadrático	-	-	-	-	-	* 0,5633	* 0,7399	** 0,7110	-	-
----- Altura -----										
Dose	4	2,893 ^{ns}	1,361 ^{ns}	0,323 ^{ns}	0,212 ^{ns}	7,463**	32,85*	4,146*	1,666 ^{ns}	
Bloco	3									
CV (%)		4,07	6,68	11,25	8,64	2,51	3,10	2,61	4,21	
Média		2,62	2,66	2,68	2,68	2,85	2,56	2,83	2,46	
Modelo	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²
Linear	-	-	-	-	-	-	** 0,8566	ns 0,0914	** 0,8186	-
Quadrático	-	-	-	-	-	-	ns 0,9483	ns 0,2231	ns 0,9972	-
----- Ca.s -----										
Dose	4	1,927 ^{ns}	9,741**	11,925**	5,778**	1,253 ^{ns}	2,997 ^{ns}	3,126 ^{ns}	1,328 ^{ns}	
Bloco	3									
CV (%)		10,49	3,85	6,29	8,66	8,14	6,83	9,14	9,06	
Média		3,39	2,99	3,46	3,17	5,68	4,46	5,83	4,27	

Modelo	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²
Linear	-	-	*	0,1940	**	0,5088	ns	0,1859	-	-	-	-	-	-
Quadrático	-	-	**	0,7248	ns	0,5093	**	0,5965	-	-	-	-	-	-
Mg.s														
Dose	4	0,141 ^{ns}	6,160 ^{**}	0,940 ^{ns}	2,025 ^{ns}	0,354 ^{ns}	2,902 ^{ns}	0,336 ^{ns}	27,52 ^{ns}					
Bloco	3													
CV (%)		17,11	4,98	16,83	12,21	12,72	8,75	15,81	13,22					
Média		0,93	1,33	0,92	1,31	1,03	1,17	1,04	1,14					
Modelo	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²
Linear	-	-	ns	0,1245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quadrático	-	-	**	0,5589	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P.s														
Dose	4	0,880 ^{ns}	6,462 ^{**}	1,596 ^{ns}	4,680 [*]	1,179 ^{ns}	0,176 ^{ns}	3,134 ^{ns}	4,485 [*]					
Bloco	3													
CV (%)		44,69	23,70	41,88	22,92	72,55	30,00	25,70	34,73					
Média		1,69	11,23	1,86	9,03	25,67	26,38	1,74	22,68					
Modelo	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²
Linear	-	-	ns	0,1788	-	-	ns	0,0163	-	-	-	-	*	0,3903
Quadrático	-	-	*	0,4458	-	-	ns	0,0364	-	-	-	-	**	0,9300
Si.s														
Dose	4	1,079 ^{ns}	1,450 ^{ns}	0,930 ^{ns}	4,961 [*]	0,106 ^{ns}	1,888 ^{ns}	0,126 ^{ns}	2,416 ^{ns}					
Bloco	3													
CV (%)		7,16	20,86	10,14	15,15	16,43	14,09	14,55	13,78					
Média		4,72	2,89	4,56	3,12	9,83	4,40	10,00	4,24					
Modelo	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²
Linear	-	-	-	-	-	-	**	0,6079	-	-	-	-	-	-
Quadrático	-	-	-	-	-	-	*	0,8883	-	-	-	-	-	-
Ca.f														
Dose	4	0,639 ^{ns}	0,138 ^{ns}	2,874 ^{ns}	1,225 ^{ns}	0,811 ^{ns}	2,996 ^{ns}	7,206 ^{**}	4,071 [*]					
Bloco	3													
CV (%)		11,06	13,19	7,92	7,78	10,24	8,74	6,20	10,64					
Média		4,52	3,75	4,77	3,75	4,02	2,62	4,02	2,66					
Modelo	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²
Linear	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	0,8120	ns	0,0026
Quadrático	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	0,9365	**	0,9910	
Mg.f														

Dose	4	3,796*	1,905 ^{ns}	6,339**	1,926 ^{ns}	3.132 ^{ns}	0,537 ^{ns}	4,227*	19,07 ^{ns}			
Bloco	3											
CV (%)		5,14	5,84	4,58	9,09	5,51	4,55	4,15	9,22			
Média		1,73	1,43	1,74	1,52	1,78	1,43	1,75	1,49			
Modelo	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²		
Linear	**	0,9466	-	-	**	0,7443	-	-	**	0,9259	-	-
Quadrático	ns	0,9543	-	-	ns	0,8991	-	-	ns	0,9658	-	-

P.f

Dose	4	5,308*	1,971 ^{ns}	4,875 *	0,869 ^{ns}	3,497*	0,154 ^{ns}	3,271*	1,239 ^{ns}			
Bloco	3											
CV (%)		4,16	5,59	5,01	4,68	2,72	5,73	3,88	4,34			
Média		1,94	1,93	1,88	1,93	1,91	1,38	1,92	1,42			
Modelo	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²		
Linear	*	0,4076	-	-	**	0,9719	-	-	ns	0,0473	-	-
Quadrático	ns	0,9627	-	-	ns	0,9942	-	-	*	0,5228	-	-

Si.f

Dose	4	3,167 ^{ns}	2,304 ^{ns}	0,662 ^{ns}	0,242 ^{ns}	0,489 ^{ns}	0,514 ^{ns}	1,829 ^{ns}	0,531 ^{ns}	
Bloco	3									
CV (%)		12,64	10,20	11,89	10,74	6,65	16,30	5,21	14,67	
Média		6,56	2,45	5,85	2,55	1,19	2,63	1,17	2,54	
Modelo	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²
Linear	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quadrático	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TCH

Dose	4	0,749 ^{ns}	1,690 ^{ns}	0,443 ^{ns}	0,457 ^{ns}	0,513 ^{ns}	0,336 ^{ns}	2,399 ^{ns}	0,529 ^{ns}	
Bloco	3									
CV (%)		9,11	14,90	13,49	15,14	5,87	6,59	2,30	2,64	
Média		110,77	101,15	106,47	95,10	133,49	140,36	133,38	138,50	
Modelo	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²	<i>sig.</i>	<i>R</i> ²
Linear	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quadrático	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TAH

Dose	4	3,031 ^{ns}	1,792 ^{ns}	0,430 ^{ns}	0,732 ^{ns}	0,792 ^{ns}	0,479 ^{ns}	2,868 ^{ns}	2,328 ^{ns}
Bloco	3								
CV (%)		8,20	14,90	13,76	15,36	5,32	7,18	2,73	2,67
Média		11,15	13,94	10,34	13,25	22,22	18,50	22,13	18,57

Modelo	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²
Linear	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quadrático	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-----ATR-----																
Dose	4	3,847*	1,904 ^{ns}	0,415 ^{ns}	1,443 ^{ns}					0,380 ^{ns}	1,435 ^{ns}	0,333 ^{ns}	4,439*			
Bloco	3															
CV (%)		4,69	2,63	4,73	3,84					1,95	1,00	2,63	1,46			
Média		100,77	137,79	97,12	139,48					166,53	131,72	165,89	134,09			
Modelo	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²	<i>sig.</i>	R ²
Linear	ns	0,0059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	0,5293
Quadrático	ns	0,2029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	0,7515

gl: grau de liberdade; Cana-P: cana-planta; Cana-S: cana-soca; ns: não significativo ($p > 0,05$); *sig.* (significância do coeficiente 'a' do modelo polinomial): * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; R²: coeficiente de determinação (%); Dose: 0, 50, 100, 150, 200 kg ha⁻¹ equivalente de P₂O₅. Variáveis: Perfilhos: quantidade de perfilhos de cana por metro linear de plantio; Diâmetro: diâmetro de colmo no terço médio (milímetro); Altura: altura de planta do nível do solo à ponta da última folha (metro); Ca.s: cálcio no solo (cmolc dm⁻³); Mg.s: magnésio no solo (cmolc dm⁻³); P.s: fósforo no solo (mg dm⁻³); Si.s: silício no solo (mg dm⁻³); Ca.f: cálcio na folha (g kg⁻³); Mg.f: magnésio na folha (g kg⁻³); P.f: fósforo na folha (g kg⁻³); Si.f: silício na folha (g kg⁻³); TCH: tonelada de cana por hectare (t ha⁻¹); TAH: tonelada de açúcar por hectare (t ha⁻¹); ATR: açúcar total recuperável (kg t⁻¹ de cana).

6.2.1. Variáveis biométricas

Para o número médio de perfilhos por metro de plantio, em ambas as áreas (usinas Vale do Pontal e Guaíra), foram identificadas diferenças ($p < 0,05$) entre os cortes (cana-planta e cana-soca), sendo consistentemente superior no segundo corte (cana-soca) (Tabela 5).

Na usina Vale do Pontal o número médio de perfilhos aumentou de 9,90 para 18,92 perfilhos por metro linear da cana-planta para a cana-soca (CV = 11,38%), enquanto que na usina Guaíra o número médio de perfilhos aumentou de 21,24 para 24,93 perfilhos por metro linear (CV = 8,08%). Contudo, em ambos os cortes e em ambas as áreas avaliadas, não foram identificadas diferenças entre os tratamentos com fertilizantes fosfatados aplicados ($p > 0,05$)

TABELA 5. Análise de variância das variáveis biométricas da cana-de-açúcar (perfilhos por metro, diâmetro de colmo, altura de planta) em áreas distintas (usinas Vale do Pontal e Guaíra), para dois cortes consecutivos (cana-planta e cana-soca) em função da aplicação de diferentes fontes de P₂O₅ na fosfatagem.

Fonte	Dose	Perfilhos por metro				Diâmetro de colmo				Altura de planta			
		-----N°-----				-----mm-----				-----m-----			
		Us. Vale do Pontal		Us. Guaíra		Us. Vale do Pontal		Us. Guaíra		Us. Vale do Pontal		Us. Guaíra	
		Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S
FNR OCP	100	9,83	20,33	21,29	25,06	30,61	28,83	28,86 Aa	25,49 Ba	2,60 a	2,74 a	2,85 a	2,42 a
FNR OCP + a	100	10,45	17,17	21,17	24,95	31,16	28,45	27,78 Ab	26,26 Ba	2,77 a	2,76 a	2,72 b	2,52 a
Bay	100	9,99	18,00	21,37	24,59	32,17	25,94	26,83 Ac	25,55 Ba	2,71 a	2,53 b	2,87 a	2,58 a
Ita	100	9,88	20,11	20,74	24,67	30,26	27,79	25,96 Ac	23,81 Bb	2,71 a	2,57 b	2,84 a	2,41 a
Termofosfato f	100	10,16	19,33	21,67	24,75	29,86	29,34	29,77 Aa	24,65 Bb	2,59 a	2,88 a	2,89 a	2,46 a
Termofosfato g	100	9,37	20,33	21,37	25,59	30,54	29,93	28,24 Ab	26,04 Ba	2,46 a	2,52 b	2,91 a	2,67 a
Cont	0	9,59	17,22	21,08	24,94	29,79	29,20	25,92 Ac	25,23 Aa	2,63 a	2,61 b	2,70 b	2,54 a
Média		9,90 B	18,92 A	21,24 B	24,93 A	30,63 A	28,50 B	27,62	25,29	2,64	2,66	2,83 A	2,51 B
C.V. (%)		11,38		8,08		6,11		3,29		5,71		4,47	

*: p < 0,05; Cana-P: cana-planta; Cana-S: cana-soca. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem os cortes, na linha, em cada tratamento pelo teste de Tukey (p < 0,05). Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem os tratamentos, na coluna, em cada corte pelo teste de Skott-Knott (p < 0,05). Ausência de letras: não significativo (p > 0,05). Tratamentos: FNR OCP 100 - FNR OCP Heringer, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; FNR OCP + a 100 - FNR OCP Heringer com adição de ácido húmico, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Bay 100 - FNR Bayovar, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Ita 100 - Fosfato Itafôs Dusol, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Termofosfato f 100 - termofosfato calcinado, farelado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Termofosfato g 100 - termofosfato calcinado, granulado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Cont - controle (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

para esta variável. Este resultado indica que o perfilhamento da cana-de-açúcar não foi afetado significativamente pela fonte fosfatada ou a dose aplicada.

Segundo Manhães et al., (2015) o nitrogênio e o fósforo são os elementos minerais mais importantes para o perfilhamento da cana de açúcar; contudo, no presente estudo a quantidade de perfilhos não diferiu entre os tratamentos fosfatados incluindo o tratamento controle onde não foi feita qualquer fertilização fosfatada.

Os teores de fósforo encontrados no solo (11,7 e 2,7 mg dm⁻³ na Usina Vale do Pontal e Guaíra, respectivamente) (Tabela 1) associados aos seus respectivos teores de argila (22 e 53% de argila na Usina Vale do Pontal e Guaíra, respectivamente) indicam que a disponibilidade de P no solo é mediana a baixa (SOUSA, LOBATO, REIN, 2004), o que possibilitaria uma resposta significativa da aplicação de fontes e doses de fertilizantes fosfatados na produção de perfilhos na cana-de-açúcar. Como isso não ocorreu, pode-se inferir que os níveis de P no solo, realizados pela adubação de plantio, foram suficientes para proporcionar um perfilhamento adequado, mesmo com a adição das diferentes fontes e doses aplicadas.

Este resultado sugere que a nutrição fosfatada não é determinante para elevar o perfilhamento na cana-de-açúcar - naturalmente que a disponibilidade mínima de P deve existir à disposição da planta para seu metabolismo. Ao se avaliar o perfilhamento da cana-de-açúcar, a disponibilidade equilibrada de nutrientes, umidade do solo, temperatura, aspectos fitossanitários, luminosidade e variedade (genótipo) são fatores importantes a serem considerados (SILVA et al., 2008; MANHÃES et al., 2015).

Santos et al. (2009) avaliaram diferentes fontes de P e também não observaram diferenças significativas para o perfilhamento da cana. Pasuch et al. (2012), após avaliação do efeito residual de diferentes fontes de P aplicadas no plantio da cana-de-açúcar, também verificaram que a aplicação de P não afetou o perfilhamento das touceiras de cana-de-açúcar. No entanto, Korndörfer e Alcarde (1992) observaram que o P proporcionou aumento no perfilhamento quando estudaram o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento da cana-de-açúcar.

A diferença consistente observada para a variável perfilhamento da cana-de-açúcar nas duas áreas estudadas foi entre os cortes (cana-planta e cana-soca), onde o perfilhamento da foi regularmente superior no segundo corte, o que pode ser entendido pelo fato do sistema radicular da touceira já estar mais desenvolvido e estabelecido na área no segundo ano, podendo conseqüentemente gerar mais perfilhos por muda (MANHÃES et al., 2015).

O diâmetro de colmo (mm) apresentou interação ($p < 0,05$) entre os cortes e os tratamentos aplicados na Usina Guaíra, enquanto que na Usina Vale do Pontal as diferenças apresentaram-se apenas entre os cortes (Tabela 5), a avaliação do diâmetro de colmo na cana-

planta para a cana-soca detectou diferenças significativas entre os cortes ($p > 0,05$), apresentando média de 30,63 mm na cana planta, com redução de 2,13 mm, indo para 28,50 mm na cana-soca. A maior diferença numérica detectada entre diâmetros de colmo (24,0%) foi observada entre os tratamentos “Bayovar, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅” em cana-planta (32,17 mm) para o mesmo tratamento, “Bayovar, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅”, porém em cana-soca (25,94 mm). Assim, o tratamento com fosfato natural reativo Bayovar nesta área se destacou negativamente entre os tratamentos com fontes de fertilizantes fosfatados como sendo uma fonte de desempenho numericamente inferior aos demais tratamentos.

Resultados inferiores de produção para áreas fertilizadas com fosfato natural também foram observados por Ono et al. (2009). Segundo estes autores, a produção de soja foi inferior no primeiro ano de cultivo onde fosfato natural foi aplicado, contudo, a sequência cultural com cultivo de milho equiparou o fosfato natural ao superfosfato simples nos atributos avaliados. Contudo, Chien et al. (2010) apontam que em muitas situações de cultivo podem haver resultados similares entre fosfatos naturais e fontes mais solúveis de P dependendo da fonte fosfatada, das propriedades do solo, do manejo agrícola e da espécie de planta.

Na Usina Guaíra, a avaliação de diâmetro de colmo na cana-planta indicou que a maior diferença de diâmetro de colmo observada entre os tratamentos foi de 14,9% e foi detectada entre “termofosfato calcinado, farelado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅” (29,77 mm) e “Controle, 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅” (25,92 mm) (Tabela 5).

Os tratamentos com fertilizantes fosfatados diferiram o diâmetro de colmo da cana-soca ($p > 0,05$), apresentando média de 25,29 mm, com aumento de 3,8%, em relação à média geral, para o FNR OCP + ÁH, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (26,26 mm), enquanto que o Fosfato Itafós Dusol, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (23,81 mm), apresentou uma redução de 6,2% em relação a média, diferindo significativamente. Pasuch et al. (2012) não detectou variações significativas do diâmetro de colmos da cana-soca para diferentes fertilizantes fosfatados e doses de P₂O₅. Contudo, Bezerra (2014) observou aumento do diâmetro de colmo da cana-de-açúcar com o aumento das doses de P para diferentes fontes de P e presença de substâncias húmicas no cultivo de cana-de-açúcar em casa de vegetação.

Na avaliação biométrica da cana-planta nesta área (Usina Guaíra), assim como na cana-soca, o FNC OCP Heringer apresentou melhores resultados geral entre os tratamentos para o diâmetro de colmo da cana-de-açúcar (Tabela 5).

Para a análise de regressão para as variáveis biométricas, a aplicação de doses de termofosfato calcinado granulado afetou significativamente ($p < 0,05$) o diâmetro de colmo e a

altura de planta na primeira e na segunda avaliação (cana-planta e cana-soca, respectivamente) (Tabela 4).

Os diâmetros de colmo e as alturas de planta na primeira e na segunda avaliação na usina Guaíra são apresentados na Figura 3. A altura de planta na segunda avaliação (cana-soca) não apresentou modelo polinomial (linear ou quadrático) que se adequasse ao conjunto de dados, e variou entre 2,48 m (50 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e 2,67 m (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

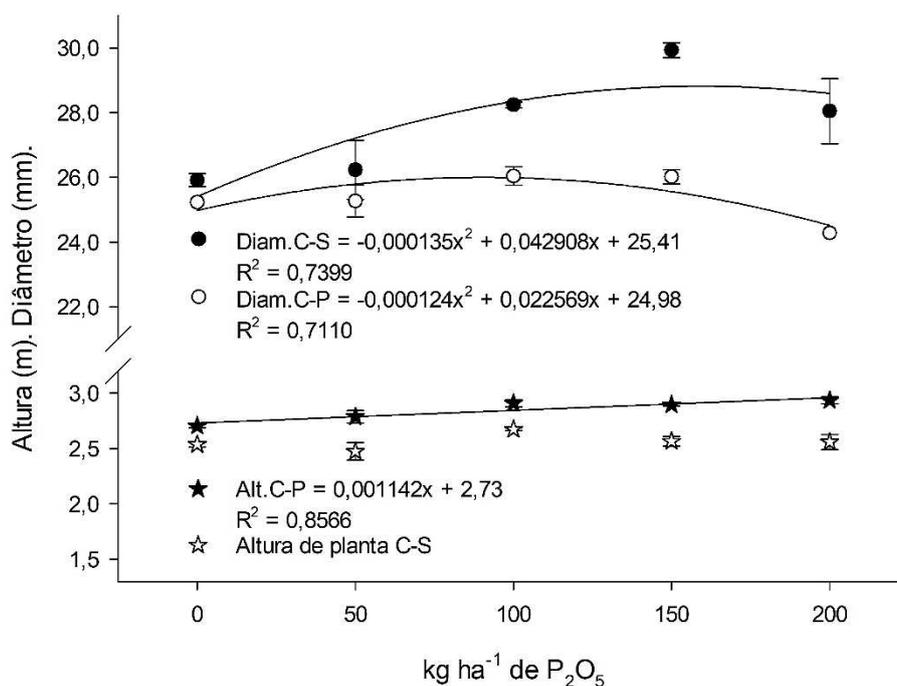


FIGURA 3. Diâmetro de colmo e a altura de planta em cana-planta (C-P) e cana-soca (C-S) na usina Guaíra em resposta à aplicação de termofosfato calcinado granulado. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (*s*).

A altura de planta (m) não apresentou interação entre os cortes (cana-planta e cana-soca) e os tratamentos em ambas as áreas (usinas Vale do Pontal e Guaíra) (Tabela 5). Na usina vale do Pontal não foram detectadas diferenças entre os cortes. Entre os tratamentos, apresentou altura média em cana-planta de planta de 2,64 m, variando entre 2,77 a 2,46 m, sem apresentar diferenças entre os tratamentos. Para a cana-soca, na Usina Vale do pontal, houve diferenciação das duas fontes do FNR OCP Heringer e o Termofosfato calcinado farelado com as demais fontes fosfatadas, chegando a apresentar 14,3% de redução do Termofosfato calcinado farelado para a mesma fonte no formato granulado.

Contudo, na usina Guaíra, foram identificadas diferenças entre cortes e entre os tratamentos. A avaliação de altura de planta da cana-planta na usina Guaíra foi de 2,83 m, enquanto que na cana-soca a altura média de planta foi de 2,51 m. Diferenças significativas na

altura de planta entre os tratamentos foram observadas apenas na avaliação da cana-planta, destacando-se o “termofosfato calcinado, granulado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅” com até 7,8% superior aos tratamentos “FRN OCP + ÁH, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅” e o controle. Apresentando o termofosfato calcinado granulado com os melhores resultados para resposta na altura da cana-de-açúcar.

Esta observação está de acordo com Sousa (2011) que avaliando diferentes fosfatos em pré-plantio constatou que a aplicação do termofosfato magnésiano e do superfosfato triplo aumentaram a altura das plantas de cana-de-açúcar (variedade RB 867515). Contudo, Brasil et al. (2015), observaram que o termofosfato de Al obteve menores respostas para a altura de plantas de milho de comparado ao superfosfato triplo ou ao fosfato reativo, pois apresentou um crescimento linear em resposta à aplicação de doses crescentes de P. Já Pasuch et al. (2012) não detectaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos com fontes de P e o controle para a esta variável.

As regressões para a aplicação de doses de FNR OCP em pó, na Usina Guaíra, afetou significativamente na primeira avaliação (cana-planta) as variáveis altura de planta. A resposta da altura de planta da cana-planta na usina Guaíra é apresentada na Figura 4; apenas o modelo polinomial de linear foi significativo ($p = 0,0031$) e apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8186$).

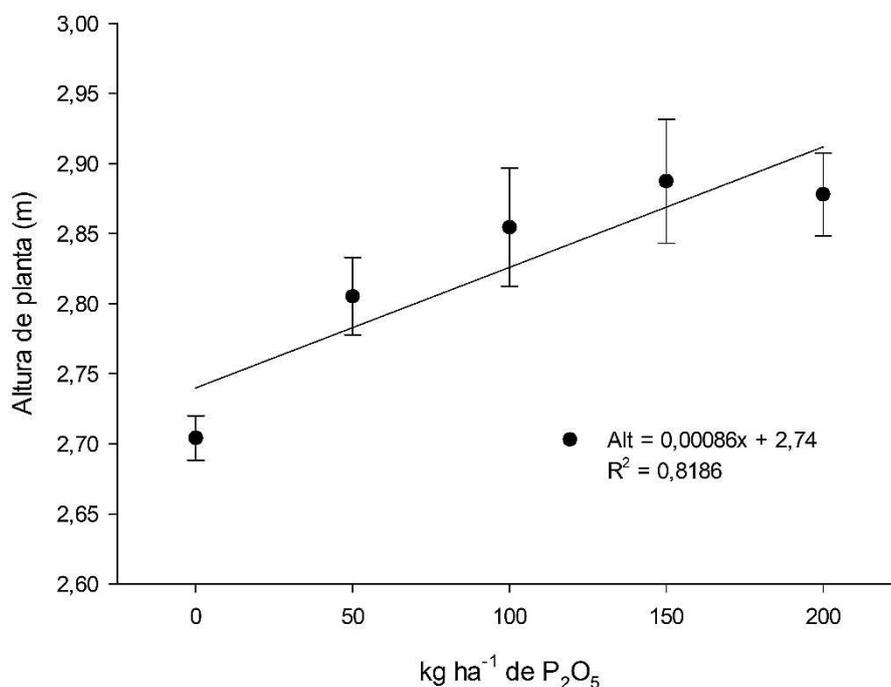


FIGURA 4. Altura de planta (cana-planta) na usina Guaíra em resposta à aplicação de FNR OCP pó. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (s).

6.2.2. Cálcio, magnésio, fósforo e silício no solo

Os teores de Mg e Si no solo não apresentaram interação ($p > 0,05$) entre os cortes (cana-planta e cana-soca) e os tratamentos em ambas as áreas (usinas Vale do Pontal e Guaíra) (Tabela 6). O teor de Ca e de Mg no solo podem ser classificados como adequados: maior que 0,4 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente (RAIJ et al., 1997).

O Ca na Usina Vale do Pontal apresentou redução significativa para o termofosfato calcinado farelado e o controle, quando comparado os cortes, diminuindo seus teores da cana-planta para cana-soca, porém apenas estes dois tratamentos se destacaram entre os tratamentos na cana-planta, enquanto que na cana-soca, apesar da análise de variância indicar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com fertilizantes fosfatados para o teor de Ca no solo da Usina Vale do Pontal, o teste de médias de Skott-Knott não diferenciou os tratamentos estudados, assim como na cana-soca da Usina Guaíra.

A resposta do Ca no solo para análise de regressão do termofosfato calcinado granulado, na cana-soca da Usina Vale do Pontal, se adequou significativamente ($p = 0,0026$) ao modelo polinomial de função quadrática e elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9466$) (Tabela 4). O ponto de inflexão dessa função quadrática indica que o teor máximo de Ca no solo é atingido com $82,02 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 do termofosfato calcinado granulado.

Na primeira avaliação nesta usina o teor de Ca no solo apresentou modelo linear significativo ($p = 0,0003$), porém, baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,5088$). O Ca no solo variou entre $3,04 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de solo (200 kg ha^{-1} de P_2O_5) e $3,88 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (50 kg ha^{-1} de P_2O_5) e é considerado insuficiente para a cultura da cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2013).

TABELA 6. Análise de variância dos teores de cálcio e magnésio (cmolc dm^{-3}), fósforo e Si (mg dm^{-3}) no solo em áreas distintas (usinas Vale do Pontal e Guaira), para dois cortes consecutivos (cana-planta e cana-soca) em função da aplicação de diferentes fontes de P_2O_5 na fosfatagem.

Fonte	Dose	Cálcio				Magnésio				Fósforo				Silício			
		----- cmolc dm^{-3} -----								----- mg dm^{-3} -----							
		Us. Vale do Pontal		Us. Guaira		Us. Vale do Pontal		Us. Guaira		Us. Vale do Pontal		Us. Guaira		Us. Vale do Pontal		Us. Guaira	
Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S		
FNR OCP	100	3,09 Ab	3,21 Aa	6,42 a	4,56 a	0,85 a	1,43 a	1,08	1,20	15,81	6,23	16,41 Ab	17,10 Ab	4,69 a	3,57 a	9,91	4,54
FNR OCP + a	100	3,34 Ab	3,13 Aa	5,69 b	4,34 a	0,85 a	1,26 b	1,06	1,09	19,01	9,23	15,56 Ab	16,90 Ab	4,39 a	3,37 a	10,10	4,35
Bay	100	3,37 Ab	3,08 Aa	5,60 b	4,46 a	0,87 a	1,15 b	1,02	1,14	15,37	14,45	22,19 Aa	24,35 Aa	4,47 a	2,40 b	10,13	3,71
Ita	100	3,32 Ab	3,14 Aa	5,48 b	4,39 a	0,95 a	1,54 a	0,96	1,10	18,90	11,30	25,45 Aa	20,68 Ab	4,66 a	3,66 a	10,13	3,87
Termofosfato f	100	3,61 Aa	2,80 Ba	5,52 b	4,26 a	0,94 a	1,20 b	1,04	1,08	19,73	8,93	15,07 Ab	15,75 Ab	4,24 a	2,92 b	10,12	4,27
Termofosfato g	100	3,24 Ab	3,06 Aa	5,73 b	4,61 a	0,97 a	1,34 a	1,09	1,18	11,52	10,87	9,74 Bb	28,70 Aa	4,81 a	2,91 b	10,15	4,60
Cont		3,73 Aa	2,99 Ba	5,29 b	4,00 a	0,90 a	1,33 a	0,99	1,02	16,74	8,43	12,02 Bb	24,13 Aa	4,45 a	2,42 b	9,79	3,76
Média		3,39	3,06	5,67 A	4,37 B	0,90 B	1,32 A	1,03 B	1,11 A	16,78 A	9,92 B	16,63	21,09	4,53 A	3,03 B	10,05 A	4,16 B
C.V. (%)		8,76		8,89		12,41		13,43		38,86		34,07		14,92		14,98	

*: $p < 0,05$; Cana-P: cana-planta; Cana-S: cana-soca. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem os cortes, na linha, em cada tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem os tratamentos, na coluna, em cada corte pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$). Ausência de letras: não significativo ($p > 0,05$). Tratamentos: FNR OCP 100 - FNR OCP Heringer, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; FNR OCP + a 100 - FNR OCP Heringer com adição de ácido húmico, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Bay 100 - FNR Bayovar, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Ita 100 - Fosfato Itafós Dusol, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Termofosfato f 100 - termofosfato calcinado, farelado, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Termofosfato g 100 - termofosfato calcinado, granulado, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Cont - controle (0 kg ha^{-1} de P_2O_5).

Os teores observados de Ca, Mg e P no solo em resposta às doses de termofosfato calcinado granulado nesta segunda avaliação (cana-soca) na usina Vale do Pontal são apresentados na Figura 5.

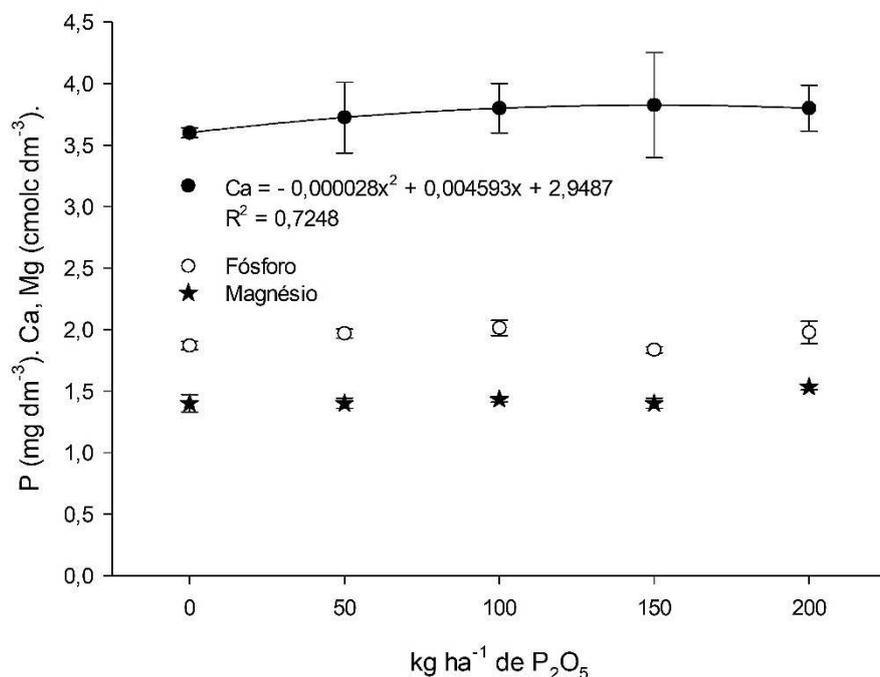


FIGURA 5. Cálcio, magnésio e fósforo na folha de cana (cana-soca) na usina Vale do Pontal em resposta à aplicação de termofosfato calcinado granulado. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (*s*).

Os teores de Ca no solo da Usina Guaíra, P no solo na Usina Vale do Pontal e Si no solo em ambas as áreas, reduziram na cana-soca comparados com os teores do ano anterior (cana-planta). No entanto, os teores de Mg no solo, em ambos os locais, apresentaram aumento do primeiro para o segundo corte, seguindo uma resposta significativamente contrária aos demais nutrientes analisados, o P do solo na Usina Guaíra, seguiu uma resposta inversa, aumentando seu teor no solo no segundo ano (cana-soca), apenas para o termofosfato calcinado granulado e o controle, fazendo com que saíssem dos menores valores que diferiram significativamente, na cana-planta para os melhores teores de P na cana-soca (Tabela 6).

O teor de P no solo apresentou interação significativa entre fatores ($p < 0.05$) apenas na Usina Guaíra e indicou que o teor de P no solo, na cana-planta, foi superior para os tratamentos com o fosfato natural Itafós Dusolo e para o fosfato natural reativo Bayovar, o qual permaneceu superior significativamente na cana-soca, juntamente com o termofosfato calcinado granulado e o controle. Na análise do P no solo da cana planta na Usina Vale do Pontal foram apresentadas

as médias dos dados não transformados acompanhadas da estatística dos dados transformados, havendo uma diminuição de $16,78 \text{ mg dm}^{-3}$, na cana planta, para $9,92 \text{ mg dm}^{-3}$ na cana soca.

A análise química do solo da cana-soca indicou que os tratamentos “termofosfato calcinado, granulado, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ” e “FNR Bayovar, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ” apresentaram os maiores níveis de P no solo na Usina Guaíra (Tabela 6). Stefanutti, Malavolta e Muraokaet (1995), contudo, observaram que após sete cultivos consecutivos de milho com a aplicação de superfosfato simples granulado, termofosfato magnesiano em pó, grosso e granulado indicou que o uso do termofosfato em pó apresentou efeito residual semelhante ao do superfosfato simples granulado.

Stefanutti, Malavolta e Muraokaet (1995) também indicaram que a granulometria mais grosseira do termofosfato resultou menor aproveitamento do P residual no solo; contudo, no presente estudo, os maiores níveis de P no solo foram também observados em fonte granulada na cana soca e em área com maior teor de P no solo ($11,7 \text{ mg dm}^{-3}$, Tabela 1).

Segundo Moretto, Büll e Ito (2017), os termofosfatos possuem eficiências agronômicas distintas em função da concentração inicial de P no solo, sendo mais eficientes quando esse nível é previamente adequado. Fosfato parcialmente calcinado apresentou resultados gerais medianos a inferiores em relação ao superfosfato triplo para as características de solo e de planta em área cultivado com milho (NICCHIO et al., 2019).

A alteração da concentração de teores de nutrientes no solo com a aplicação de fertilizantes fosfatados era esperada. Korndörfer et al. (2000) também reportaram alterações nas características químicas do solo com a aplicação de 480 kg ha^{-1} de termofosfato em cana-de-açúcar. Estes autores reportaram alterações no pH do solo (5,4 para 5,7), saturação de bases (71 para 80%), teor de Ca, Mg e Si (2,64, 1,21, 17 para 3,25, 1,60, 117 cmolcdm^{-3} , respectivamente), porém não observaram efeito positivo na produtividade dos genótipos estudadas.

Para os teores de Si no solo, além da significância entre os corte ($p < 0.05$), os tratamentos na Usina Vale do Pontal apresentou diferenças significativas, porém pelo teste de Scott-Knott, apenas os FNR OCP Heringer, normal e com adição de ácido húmico, e o fosfato natural Itafós, na cana-soca, que se destacaram perante aos demais.

Os teores de Si no solo para a cultura do arroz (Poaceae) em Organossolo (Histosol) foram classificados por Korndörfer et al. (2001), e de acordo com esta classificação o teor de Si no solo para todos os tratamentos na Usina Vale do Pontal em ambos os cortes e no primeiro corte (cana-soca) da Usina Guaíra é classificado como “baixo” ($< 6 \text{ mg kg}^{-1}$); contudo, a média

do primeiro corte da Usina Guaira (Tabela 6), os teores de Si no solo são classificados como “médio” ou “elevado”.

As respostas dos teores de Ca, Mg, P e Si no solo, contudo, foram variadas em relação aos diferentes tratamentos com fontes e doses de fosfatados que foram estudados nos dois primeiros cortes da cana em duas áreas distintas. Os resultados observados nos experimentos desse estudo reafirmam o termofosfato como uma fonte apropriada e de desempenho similar a fontes de P mais solúveis. Os resultados observados neste estudo também permitem observar que a diferenciação entre os tratamentos foi mais pronunciada no segundo corte (cana-soca) para os teores no solo.

Na segunda avaliação da cana (cana-soca) na usina Vale do Pontal foram detectadas diferenças entre as doses, nas análises de regressões, de FNR OCP pó para os teores de Ca ($p < 0,01$), P e Si no solo ($p < 0,05$) e o diâmetro de colmo ($p < 0,05$). Contudo, apenas o teor de Si no solo apresentou modelo polinomial significativo ($p < 0,05$, função quadrática) e coeficiente de determinação elevado ($R^2 > 0,70$), com teor máximo de Si no solo de $3,53 \text{ mg dm}^{-3}$ observado aos $142,83 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 6). O diâmetro de colmo variou entre $27,16 \text{ mm}$ (50 kg ha^{-1} de P_2O_5) e $29,79 \text{ mm}$ (200 kg ha^{-1} de P_2O_5).

Os teores dos nutrientes no solo (Ca, P e Si) são apresentados na Figura 6. O teor de P está acima do considerado suficiente para a cana-de-açúcar, maior que 3 g de P por quilograma de folha (SANTOS et al., 2013). Já os teores de Ca (SANTOS et al., 2013) e Si (DATNOFF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001) estão abaixo da faixa de teores foliares considerados adequados para a cana-de-açúcar.

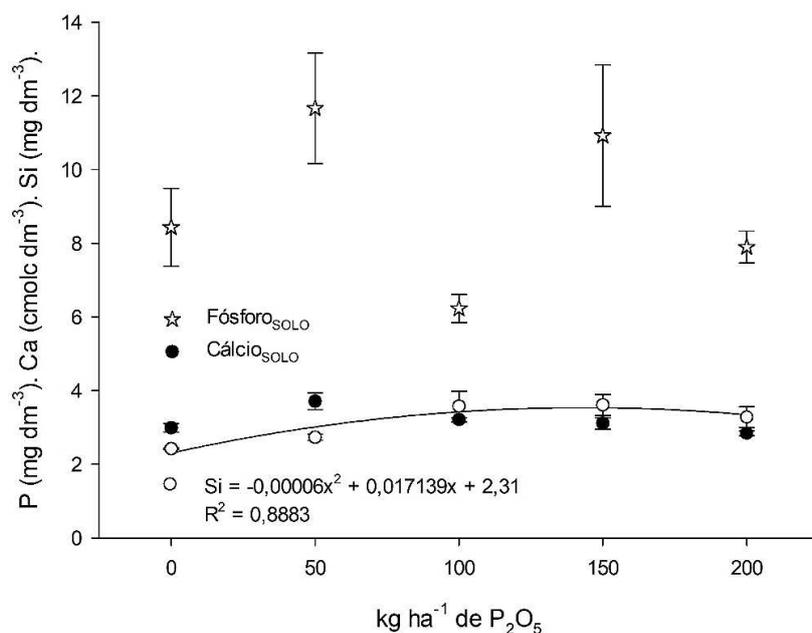


FIGURA 6. Cálcio, fósforo e silício no solo de cana (cana-soca) na usina Vale do Pontal em resposta à aplicação de FNR OCP pó. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (s).

O teor de P no solo, na Usina Guaíra, apresentou função quadrática significativa ($p = 0,009$) e elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9300$), indicando que o teor de fósforo no solo se eleva a partir de $74,85 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 para o FNR OCP (Figura 7).

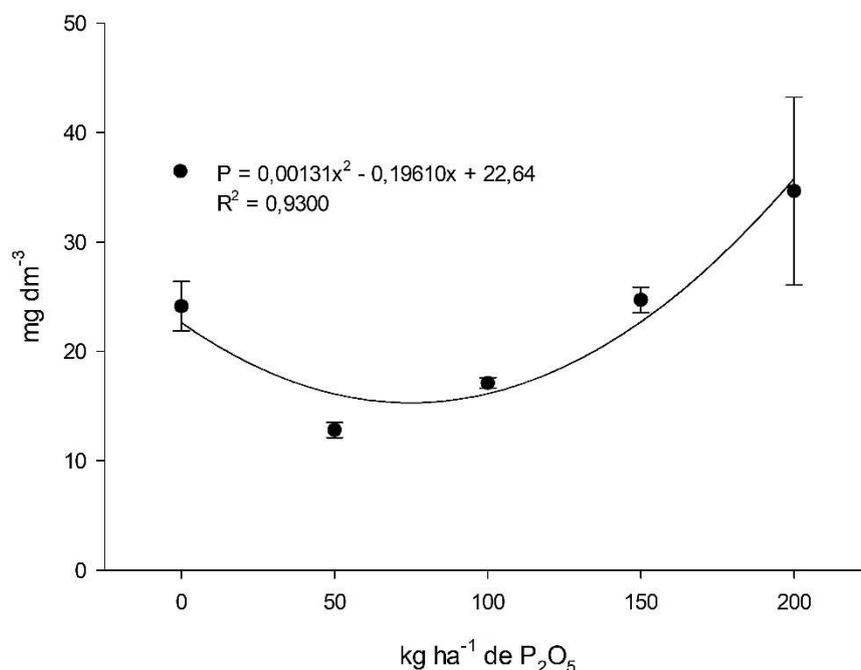


FIGURA 7. Fósforo no solo (cana-soca) na usina Guaíra em resposta à aplicação de FNR OCP pó. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (s).

6.2.3. Cálcio, magnésio, fósforo e silício na folha

Em geral, o nível dos nutrientes foliares avaliados reduziu do primeiro (cana-planta) para o segundo corte (cana-soca), exceto para o Si foliar nas duas Usinas (Tabela 7). Entretanto, as respostas dos teores de Ca, Mg, P e Si na folha também foram variadas em relação aos diferentes tratamentos com fontes e doses de fosfatados.

Os tratamentos “FNR OCP + ÁH, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ” e “Fosfato Itafós Dusol, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ” apresentaram os maiores teores foliares de Ca na avaliação da cana-planta da Usina Vale do Pontal; essa resposta não se repetiu no segundo corte onde o nível de Ca foliar destes tratamentos, juntamente com o “FNR OCP, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ” e “FNR Bayovar, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ”, reduziram significativamente no segundo corte, sendo similar aos demais tratamentos ($p > 0,05$), apresentando $3,81 \text{ g kg}^{-1}$ de cálcio na média da cana-soca (Tabela 7). O nível de Ca na folha não diferiu entre os tratamentos na Usina Guaíra

TABELA 7. Análise de variância dos teores foliares de cálcio, magnésio, fósforo e Silício (g kg^{-1}) em áreas distintas (usinas Vale do Pontal e Guaíra), para dois cortes consecutivos (cana-planta e cana-soca) em função da aplicação de diferentes fontes de P_2O_5 na fosfatagem.

Fonte	Dose	Cálcio				Magnésio				Fósforo				Silício			
		----- g kg^{-1} -----								----- g kg^{-1} -----							
		Us. Vale do Pontal		Us. Guaíra		Us. Vale do Pontal		Us. Guaíra		Us. Vale do Pontal		Us. Guaíra		Us. Vale do Pontal		Us. Guaíra	
		Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S
FNR OCP	100	5,07 Ab	3,95 Ba	4,02	2,93	1,76 Ab	1,65 Aa	1,79 a	1,58 a	1,87	1,99	1,93	1,45	5,70 Ba	26,32 Ab	12,32	25,17
FNR OCP + a	100	5,81 Aa	3,65 Ba	4,02	2,68	1,75 Ab	1,57 Ba	1,75 b	1,55 a	1,93	1,96	2,03	1,47	6,02 Ba	31,22 Aa	11,92	26,71
Bay	100	5,02 Ab	4,08 Ba	3,80	2,68	1,76 Ab	1,63 Aa	1,67 b	1,37 b	1,98	2,01	1,87	1,42	6,68 Ba	23,02 Ac	12,19	23,18
Ita	100	5,90 Aa	3,70 Ba	4,02	2,58	1,96 Aa	1,53 Ba	1,73 b	1,45 b	1,93	1,94	1,93	1,41	6,32 Ba	19,36 Ad	11,77	23,64
Termofosfato f	100	4,61 Ab	3,87 Aa	4,06	2,60	1,64 Ac	1,57 Aa	1,86 a	1,40 b	1,95	1,96	1,90	1,39	6,45 Ba	25,16 Ab	12,37	25,10
Termofosfato g	100	4,47 Ab	3,80 Aa	4,27	2,67	1,74 Ab	1,43 Bb	1,81 a	1,43 b	1,98	2,01	1,93	1,38	6,04 Ba	26,34 Ab	12,02	27,37
Cont		4,25 Ab	3,60 Aa	3,78	2,33	1,61 Ac	1,40 Bb	1,65 b	1,40 b	1,78	1,87	1,83	1,39	6,26 Ba	25,10 Ab	11,60	23,83
Média		5,02	3,81	3,99 A	2,64 B	1,74	1,54	1,75 A	1,45 B	1,91	1,96	1,92 A	1,42 B	6,21	25,22	12,03 B	25,00 A
C.V. (%)		12,65		15,00		5,77		5,88		6,49		5,63		12,93		14,97	

*: $p < 0,05$; Cana-P: cana-planta; Cana-S: cana-soca. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem os cortes, na linha, em cada tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem os tratamentos, na coluna, em cada corte pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$). Ausência de letras: não significativo ($p > 0,05$). Tratamentos: FNR OCP 100 - FNR OCP Heringer, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; FNR OCP + a 100 - FNR OCP Heringer com adição de ácido húmico, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Bay 100 - FNR Bayovar, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Ita 100 - Fosfato Itafôs Dusol, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Termofosfato f 100 - termofosfato calcinado, farelado, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Termofosfato g 100 - termofosfato calcinado, granulado, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; Cont - controle (0 kg ha^{-1} de P_2O_5).

para ambos os cortes; porém, entre as médias dos cortes (cana-planta e cana-soca) houve diferença ($p < 0,05$), sendo 51,1% superior na cana-planta ($3,99 \text{ g kg}^{-1}$) em relação à cana-soca ($2,64 \text{ g kg}^{-1}$).

As respostas dos teores de Ca, Mg e P na folha da cana-planta às doses de FNR OCP pó, para Usina Guaíra, são apresentadas na Figura 8. O modelo polinomial de linear foi significativo ($p < 0,05$) e apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 > 0,70$).

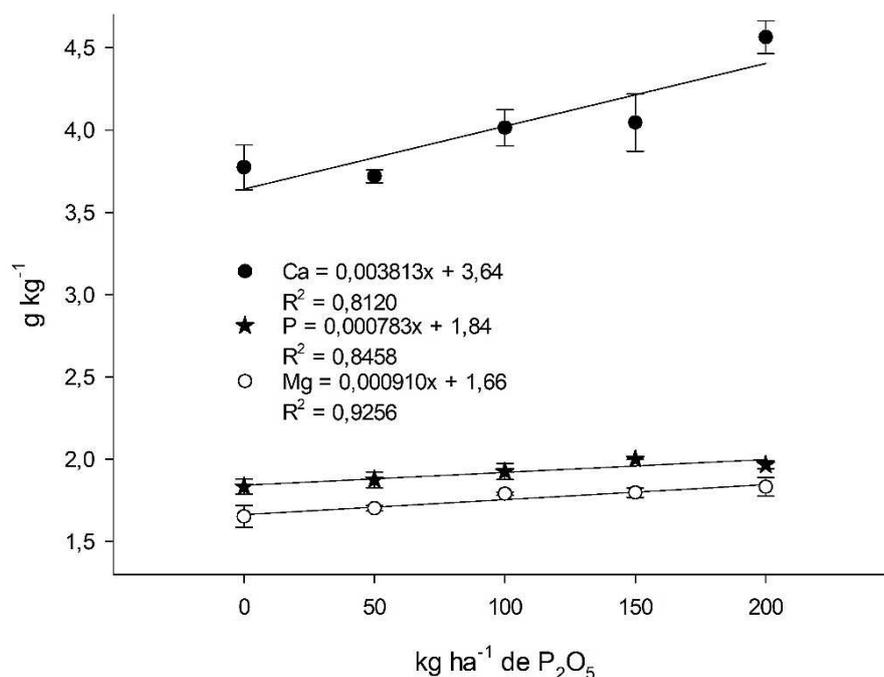


FIGURA 8. Cálcio, fósforo e silício na folha de cana (cana-soca) na usina Guaíra em resposta à aplicação de FNR OCP pó. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (s).

Na segunda avaliação da cana nesta área (cana-soca) as variáveis teor de P no solo, Ca na folha e a quantidade de açúcar total recuperável ($kg\ t^{-1}$ de cana) foram afetadas significativamente ($p < 0,05$) pelas doses de FNR OCP pó.

Em relação ao Mg foliar o tratamento “Termofosfato calcinado, farelado, $100\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 ” foi o pior resultado na cana-planta, porém com redução de apenas $0,07\ g\ kg^{-1}$, passou a não diferir significativamente dos melhores tratamentos na cana-soca. O tratamento controle, apresentou-se com os piores teores foliares nos dois corte, com redução significativa do primeiro para o segundo, demonstrando uma respostas satisfatória da fosfatagem para os teores de Mg foliar. Todos os tratamentos apresentaram níveis adequados de Mg foliar. Segundo Rajj et al. (1996), os teores foliares adequados de Ca foliar para cana-de-açúcar estão entre $2,0$ e $8,0\ g\ kg^{-1}$, de Mg entre $1,0$ e $3,0\ g\ kg^{-1}$ e P foliar para cana-de-açúcar estão entre $1,5$ e $3,0\ g\ kg^{-1}$.

O teor de Ca na folha da cana também apresentou função quadrática significativa ($p = 0,0017$) e elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9910$), indicando que o teor de cálcio na folha da cana atinge um máximo ($2,96\ g\ kg^{-1}$) na dose de $101,03\ g\ ha^{-1}$ de P_2O_5 como FNR OCP pó (Figura 9).

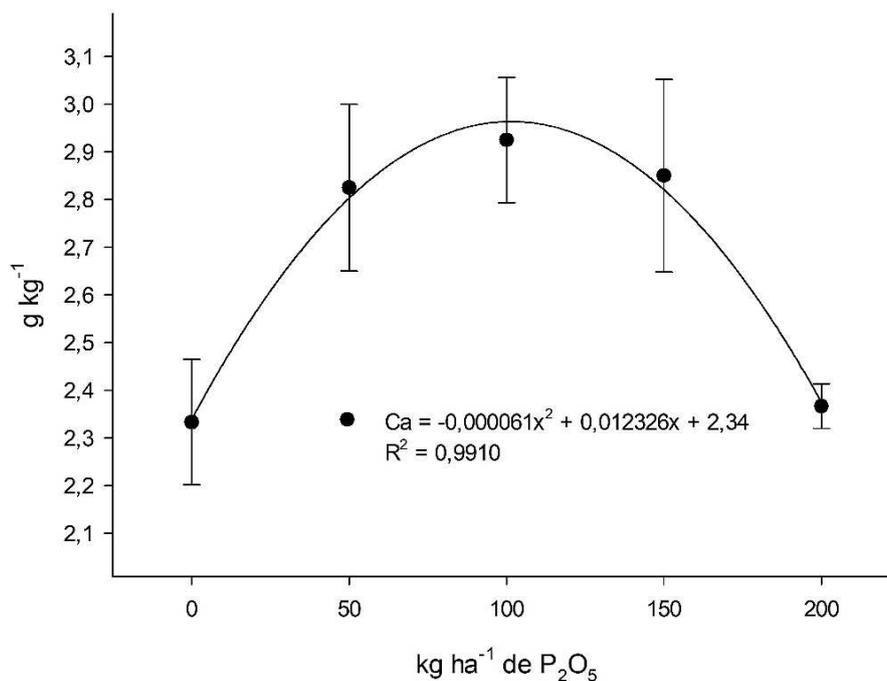


FIGURA 9. Cálcio na folha (cana-soca) na usina Guaíra em resposta à aplicação de FNR OCP pó. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (s).

A aplicação de doses de termofosfato calcinado granulado, segundo a análise de regressão para Usina Vale do Pontal, afetou significativamente, o açúcar total recuperável e os teores de Mg e P na folha da cana ($p < 0,05$) na primeira avaliação (cana-planta), e os teores de Ca, Mg e P no solo ($p < 0,01$) na segunda avaliação (cana-soca) (Tabela 4).

A detecção de diferenças significativas entre os níveis de um fator (p.e. termofosfato calcinado granulado), não indica, no entanto, que os modelos polinomiais (função linear ou quadrática) se adequem satisfatoriamente ($p < 0,05$ e $R^2 > 0,70$) ao conjunto de dados da variável estudada.

Na primeira avaliação nesta usina o açúcar total recuperável e o teor de P foliar não apresentaram modelos significativos ($p > 0,05$) ou apresentaram reduzido ajuste dos dados aos modelos avaliados ($R^2 < 0,70$). O açúcar total recuperável variou entre 96,04 kg t⁻¹ de cana (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e 107,54 kg t⁻¹ de cana (50 kg ha⁻¹ de P₂O₅); já o teor de P foliar variou entre 1,78 g kg⁻¹ de cana (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e 2,00 g kg⁻¹ (50 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Apenas o teor de Mg foliar apresentou adequação significativa ($p = 0,0026$) ao modelo polinomial de função linear e elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9466$) (Tabela 4) na Usina Vale do Pontal. O gráfico de resposta do Mg na folha de cana indicou um acréscimo de 0,0011 g de Mg para cada quilograma de termofosfato calcinado granulado aplicado (Figura 10). Os teores de Mg foliar observados para todas as doses de termofosfato calcinado granulado

(P_2O_5) estão dentro da amplitude de suficiência desse elemento para a cultura da cana-de-açúcar, 1-3 $g\ dm^{-3}$ (RAIJ et al., 1996).

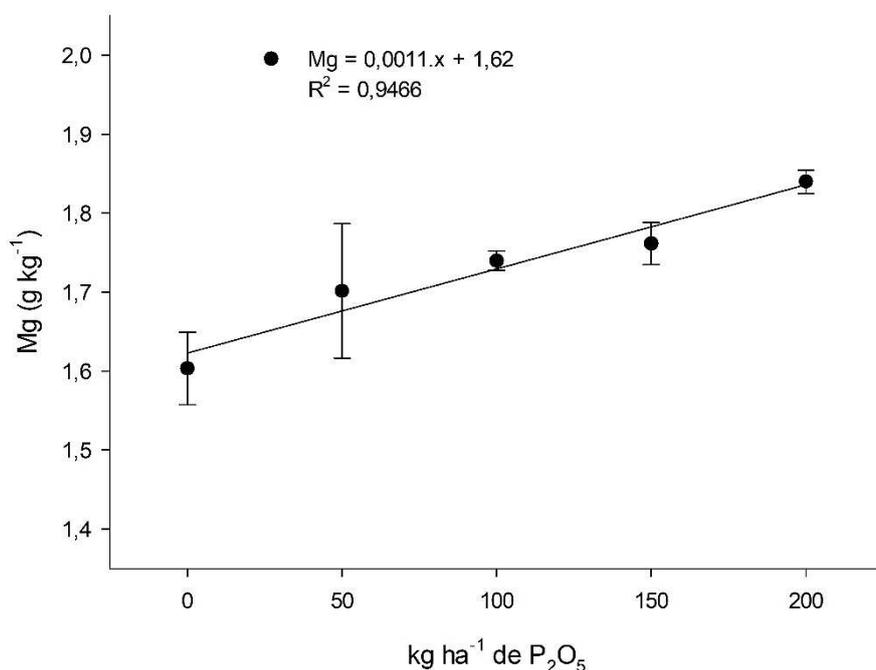


FIGURA 10. Magnésio na folha de cana (cana-planta) na usina Vale do Pontal em resposta à aplicação de termofosfato calcinado granulado. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (s).

Na segunda avaliação da cana (cana-soca) na usina Vale do Pontal foram detectadas diferenças entre as doses de termofosfato calcinado granulado para os teores de Ca, Mg e P no solo ($p < 0,01$) (Tabela 4). Contudo, apesar dos teores de Mg e P no solo apresentarem modelo polinomial de função quadrática significativo ($p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente), apresentaram também coeficientes de determinação considerados de baixo ajuste ao modelo ($R^2 < 0,70$), 0,5589 e 0,4458, respectivamente.

A aplicação de doses de FNR OCP pó afetou significativamente os teores de Ca no solo ($p < 0,01$) e os teores de Mg e P na folha da cana ($p < 0,05$) na primeira avaliação (cana-planta), e o diâmetro de colmo ($p < 0,05$) e teores de Ca ($p < 0,01$), P e Si no solo ($p < 0,05$) na segunda avaliação (cana-soca) na usina Vale do Pontal (Tabela 4).

O Mg e o P foliar apresentaram ajuste significativo ($p < 0,01$) ao modelo polinomial de função linear e coeficiente de determinação superior a 0,70. Ambos os nutrientes estão em níveis adequados cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2013). Os teores de Ca no solo e de Mg e P na folha de cana em resposta às doses de FNR OCP pó nesta primeira avaliação (cana-planta) na usina Vale do Pontal são apresentados na Figura 11.

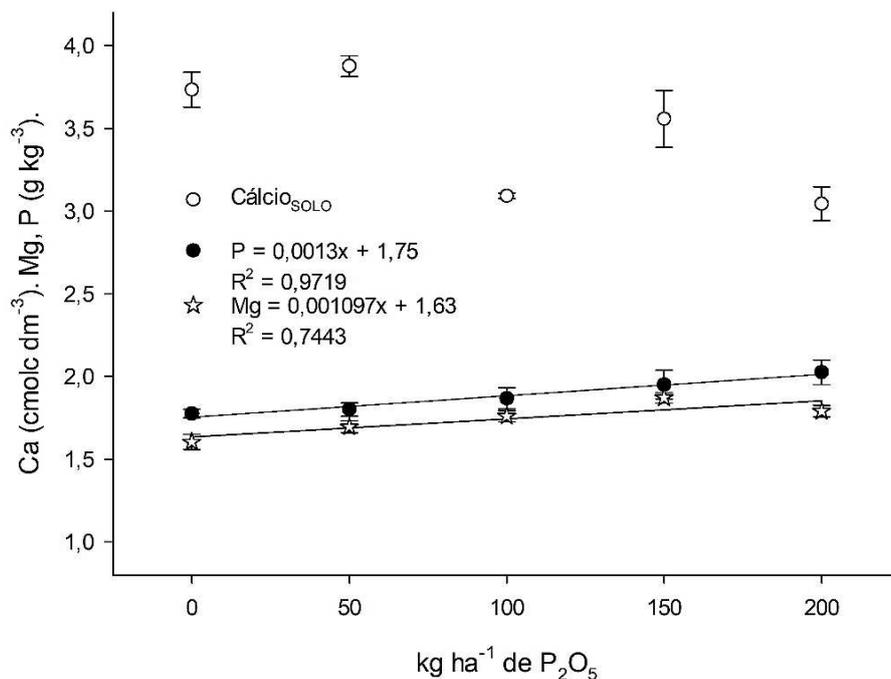


FIGURA 11. Cálcio no solo, magnésio e fósforo na folha de cana (cana-planta) na usina Vale do Pontal em resposta à aplicação de FNR OCP pó. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (s).

As respostas dos teores de Ca, Mg e P na folha da cana-planta às doses de FNR OCP pó, na Usina Guaíra, são apresentadas na Figura 12. O modelo polinomial de linear foi significativo ($p < 0,05$) e apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 > 0,70$).

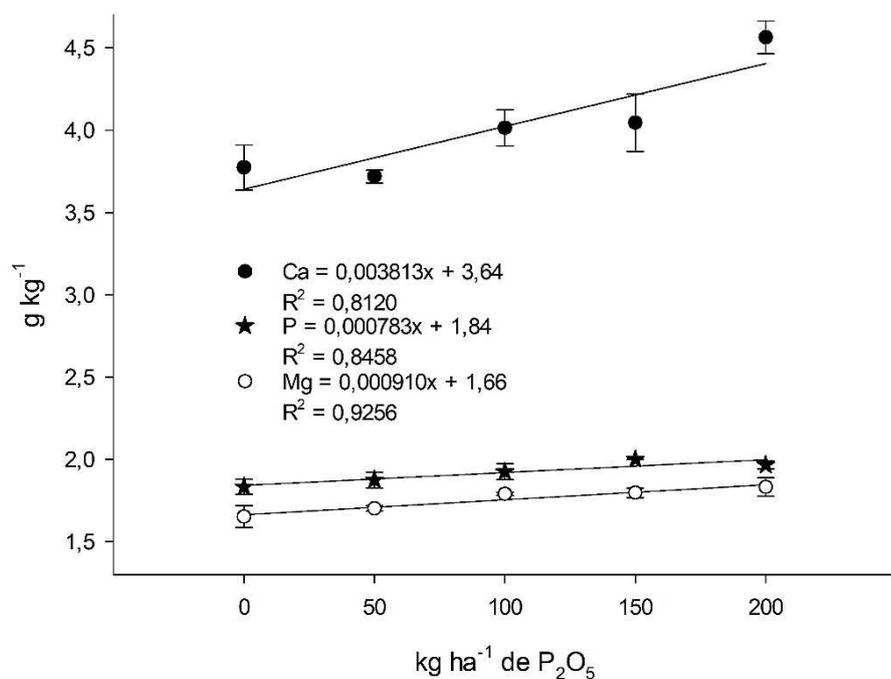


FIGURA 12. Cálcio, fósforo e silício na folha de cana (cana-soca) na usina Guaíra em resposta à aplicação de FNR OCP pó. Barras nos pontos médios indicam o desvio padrão (s).

Na segunda avaliação da cana nesta área (cana-soca) as variáveis teor de P no solo, Ca na folha e a quantidade de açúcar total recuperável (kg t^{-1} de cana) foram afetadas significativamente ($p < 0,05$) pelas doses de FNR OCP pó.

O teor de P foliar também foi afetado pelas doses aplicadas na primeira avaliação (cana-planta da Usina Guaíra, com aplicação de diferentes doses do termofosfato calcinado granulado) apresentando modelo polinomial de quadrática significativo ($p < 0,05$), contudo, baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,5528$). O P foliar variou entre $1,83 \text{ g kg}^{-1}$ de cana (0 kg ha^{-1} de P_2O_5) e $1,97 \text{ g kg}^{-1}$ de cana (50 kg ha^{-1} de P_2O_5), sendo considerados teores adequados para a cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2013).

O teor de P foliar na Usina Vale do Pontal não apresentou interação entre cortes e tratamentos ($p > 0,05$), nem diferiu entre os tratamentos avaliados ($p > 0,05$). Contudo, o P foliar na Usina Guaíra foi superior no primeiro corte ($1,92 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao segundo corte ($1,42 \text{ g kg}^{-1}$), com os maiores níveis de P foliar sendo observados no “FNR OCP + ÁH, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ”.

Sousa (2011) avaliou diferentes fertilizantes fosfatados (monofosfato de amônio, superfosfato triplo, termofosfato magnésiano) aplicados no pré-plantio, em cana-planta, e observou que a aplicação destes fertilizantes acarretou aumento no teor foliar de P em relação à testemunha. Bull, Lacerda e Nakagawa (1997) também corroboram partes dos resultados encontrados nesse estudo e observaram maior concentração de fósforo na parte aérea da alface quando termofosfato magnésiano foi utilizado. Em ambos os cortes o teor foliar de P é considerado plenamente adequado (RAIJ et al., 1996).

O teor de silício foliar na Usina Vale do Pontal aumentou do primeiro para o segundo corte (cana-soca), e apenas neste último corte que foram detectadas diferenças entre os tratamentos, indicando que o teor de Si foliar foi inferior nesse corte quando os tratamentos “Fosfato Itafós Dusol, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ” e “FNR Bayovar, pó, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 ” foram aplicados.

Na Usina Guaíra, no entanto, o teor de Si foliar não diferiu entre os tratamentos nos dois cortes, porém, o teor de Si foliar da cana-planta ($12,03 \text{ g kg}^{-1}$) foi $12,97 \text{ g kg}^{-1}$ inferior ao teor de Si foliar da cana-soca ($25,00 \text{ g kg}^{-1}$). Essa diferença pode estar relacionada com a idade da touceira e o maior desenvolvimento do sistema radicular que pode ter mais acesso ao Si solúvel. Em ambos os cortes nas duas áreas (Usina Vale do Pontal e Guaíra) foram encontrados teores considerados adequados para o Si nas folhas da cana-de-açúcar, exceto na cana-planta da Usina Vale do pontal, segundo Datnoff et al. (2001), a faixa de teores adequados de Si foliar para cana-de-açúcar varia entre 7 a 19 g kg^{-1} .

6.2.4. Tonelada de cana e açúcar por hectare e açúcar total recuperável

A produtividade da cana (TCH; t ha⁻¹) na Usina Vale do Pontal diferiu ($p > 0,05$) entre os cortes (cana-planta e cana-soca), mas não entre os tratamentos com fontes fosfatadas, e foi de 108,53 t ha⁻¹ na média geral da cana-planta, correspondendo há uma redução de 9,59 t ha⁻¹ em comparação à cana-soca, com média de 98,94 t ha⁻¹ (Tabela 8). Na Usina Guaíra também não houve diferença entre as fontes dentro de cada corte, porém diferiu entre cortes, de forma inversa à variação da Usina Vale do Pontal, com aumento de 5,1% do primeiro para o segundo corte.

A produtividade de açúcar (TAH, t ha⁻¹) não diferiu entre os tratamentos ($p > 0,05$) nas duas áreas (Usina Vale do Pontal e Guaíra), porém diferiu entre os cortes (cana-planta e cana-soca) avaliados.

Na Usina Vale do Pontal a variável TAH aumentou 26,9% do primeiro (cana-planta) para o segundo corte (cana-soca), de 10,80 t ha⁻¹ para 13,71 t ha⁻¹, respectivamente. Na Usina Guaíra a variável TAH reduziu 15,9% do primeiro corte (cana-planta) para o segundo corte (cana-soca), de 21,93 t ha⁻¹ para 18,44 t ha⁻¹, respectivamente.

Sousa (2011) avaliou diferentes fosfatos em pré-plantio da cana-de-açúcar e constatou que a aplicação do termofosfato magnésiano resultou em uma produtividade de cana 21% (14,9 t ha⁻¹) maior que o tratamento controle (62,8 t ha⁻¹) e um teor foliar de P de 1,6 g kg⁻¹. Câmara, Ribeiro e Fernandes (1984) já relatavam os benefícios agrônômicos do uso de termofosfatos e reportaram que o tratamento de fosfatos aluminosos resultava em aumento do P₂O₅ total no termofosfato originado e 42% a mais de produção de matéria seca em plantas de milho.

Silva et al. (2015) avaliando a eficiência do uso de termofosfato de Al em pó como fonte de fósforo na produção de feijão verificaram que para os componentes de produção o termofosfato de Al em pó (menor custo) não apresentou diferenças significativas em relação ao superfosfato triplo (maior custo) para esta cultura. Segundo Factor (2008), a utilização de diferentes fontes de P (solúvel, reativo e natural) no plantio também não alterou significativamente ($p > 0,05$) a produtividade da cana-de-açúcar.

TABELA 8. Análise de variância das variáveis de produção (tonelada de cana por hectare, tonelada de açúcar por hectare e açúcar total recuperável em kg t⁻¹ cana) em áreas distintas (usinas Vale do Pontal e Guaíra), para dois cortes consecutivos (cana-planta e cana-soca) em função da aplicação de diferentes fontes de P₂O₅ na fosfatagem.

Fonte	Dose	Tonelada de cana por hectare				Tonelada de açúcar por hectare				Açúcar total recuperável							
		----- t ha ⁻¹ -----								----- t ha ⁻¹ -----							
		Us. Vale do Pontal		Usina Guaíra		Us. Vale do Pontal		Usina Guaíra		Us. Vale do Pontal		Usina Guaíra					
		Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S	Cana-P	Cana-S				
FNR OCP	100	101,98	99,51	135,35	140,54	9,85	14,10	22,74	18,85	96,57 Bb	141,86 Aa	168,04	134,15				
FNR OCP + a	100	104,94	94,07	133,62	138,94	11,08	12,85	22,26	18,71	105,85 Ba	136,58 Ab	166,61	134,63				
Bay	100	107,90	94,81	134,01	139,73	10,60	13,57	22,31	19,03	97,77 Bb	142,61 Aa	166,44	136,24				
Ita	100	112,78	88,64	125,71	131,74	11,14	12,22	20,85	17,56	98,64 Bb	137,95 Ab	165,79	133,28				
Termofosfato f	100	111,60	117,78	127,48	137,43	11,52	16,38	21,27	17,88	103,23 Ba	139,06 Ab	166,85	130,31				
Termofosfato g	100	115,80	109,63	135,95	143,84	11,32	14,86	22,59	19,11	97,68 Bb	135,48 Ab	166,34	132,64				
Cont		104,69	88,15	130,17	137,34	10,06	12,00	21,50	17,92	96,05 Bb	136,08 Ab	165,20	130,49				
Média		108,53 A	98,94 B	131,76 B	138,51 A	10,80 B	13,71 A	21,93 A	18,44 B	99,40	138,52	166,47 A	133,11 B				
C.V. (%)		14,25		6,52		14,83		6,35		2,61		2,09					

*: p < 0,05; Cana-P: cana-planta; Cana-S: cana-soca. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem os cortes, na linha, em cada tratamento pelo teste de Tukey (p < 0,05). Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem os tratamentos, na coluna, em cada corte pelo teste de Skott-Knott (p < 0,05). Ausência de letras: não significativo (p > 0,05). Tratamentos: FNR OCP 100 - FNR OCP Heringer, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; FNR OCP + a 100 - FNR OCP Heringer com adição de ácido húmico, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Bay 100 - FNR Bayovar, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Ita 100 - Fosfato Itafôs Dusol, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Termofosfato f 100 - termofosfato calcinado, farelado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Termofosfato g 100 - termofosfato calcinado, granulado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Cont - controle (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

De maneira similar ao que aconteceu para a TAH, a quantidade de açúcar recuperável também aumentou na Usina Vale do Pontal, havendo interação significativa para os tratamentos dentro de cada conte, onde todas as fontes apresentaram ganhos de ATR da cana-planta para a cana-soca, enquanto que na Usina Guaíra, não houve interação, porem apresentou diminuição de 166,47 kg t⁻¹ cana de um corte (cana-planta) para o corte seguinte (cana-soca) com 133,11 kg t⁻¹ de cana.

Na cana-planta os tratamentos “FNR OCP + ÁH, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅” e “termofosfato calcinado, fârelado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅” apresentaram os maiores níveis de açúcar recuperável; enquanto que na cana-soca, os tratamentos “FNR OCP, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅” e “FNR Bayovar, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅” apresentaram os maiores níveis.

A aplicação de fosfato aluminoso calcinado granulado também promoveu efeitos positivos em estudo realizado por Borges (2019), que observou 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.

A forma aplicação dos fertilizantes fosfatados também é um importante fator para a dinâmica do P no solo - especialmente em solos intemperizados e ácidos como os solos comumente encontrados no Cerrado - e conseqüentemente para a produção da cana-de-açúcar. Neste estudo foi feita a aplicação dos fertilizantes fosfatados em área total de modo a distribuir o efeito da fertilização na parcela experimental.

Segundo Castro et al. (2016), a aplicação de fertilizante fosfatado a lanço apresentou resultados superiores para as variáveis estudadas (peso médio das espigas, massa de mil grãos e a produtividade total) em relação à sua aplicação no sulco de plantio, evidenciando que este modo de aplicação da adubação fosfatada resultou em melhores respostas de crescimento das plantas de milho. Morelli et al. (1987) também observaram maior produção de colmos e de açúcar quando a adubação fosfatada foi aplicada a lanço.

Contudo, Magro e Glória (1985), além de concluírem que a adubação fosfatada é essencial para elevadas produções da cana-de-açúcar, indicaram que as formas de aplicação não afetaram a produtividade. Rodella e Martins (1988) também indicaram que a forma de aplicação a sulco ou lanço não afetaria a produtividade da cana-planta, e esta seria afetada pela quantidade de P solúvel aplicada.

Rein et al. (2015) avaliando o efeito da adubação fosfatada na cana-de-açúcar também observaram que a aplicação das fontes fosfatadas em área total a lanço resultou em acréscimos consideráveis de produção (8 a 10 t ha⁻¹ de colmos para cana-planta e cana-soca, respectivamente), em comparação à aplicação de P somente no sulco de plantio.

A aplicação de termofosfato magnesiano em área total proporcionou os melhores resultados na análise de elementos no solo, foliar e produtividade (t ha⁻¹); contudo, a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar não foi afetada pelos tipos e formas de aplicação da adubação fosfatada (MANCIN, 2018). No entanto, Ferreira (2015) observou que as doses de fósforo aplicadas no sulco de plantio proporcionaram aumento linear no índice de área foliar e dos

teores foliares de N, P e Mg, porém, não afetaram as características agrônômicas, a produtividade de colmos e as características agroindustriais da cana-de-açúcar.

A média das fontes nos dois cortes (cana-planta e cana-soca) para as produções de cana e açúcar por hectare e o açúcar total recuperável não diferiu ($p > 0,05$) entre tratamentos pelo teste de médias de Scott-Knott, exceto na Usina Vale do Pontal para o ATR. O tratamento controle (sem adubação fosfatada) apresentou numericamente os menores resultados ou valores próximos aos menores resultados para as produções avaliadas, observando-se a média dos dois cortes - na Usina Vale do Pontal foram observados para o controle 96,42 t ha⁻¹ (TCH), 116,07 kg t⁻¹ (ATR) e 11,03 t ha⁻¹ (TAH); na Usina Guaíra foram observados para o controle 133,76 t ha⁻¹ (TCH), 147,85 kg t⁻¹ (ATR) e 19,71 t ha⁻¹ (TAH) - contudo sem diferir estatisticamente dos demais tratamentos.

Entretanto, na Usina Vale do Pontal o tratamento com termofosfato calcinado (farelado) apresentou a quantidade de cana e açúcar por hectare e o açúcar total recuperável numericamente superior ao controle, respectivamente, 19, 4,4 e 26,5% acima do observado quando nenhuma fonte fosfatada foi adicionada. Na Usina Guaíra o tratamento com fosfato natural OCP (pó) apresentou a quantidade de cana e açúcar por hectare e o açúcar total recuperável numericamente superior ao controle, respectivamente, 3,1, 2,2 e 5,5%.

O teste das médias para as variáveis acumuladas dos tratamentos com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (termofosfato calcinado, granulado; FNR OCP, pó; termofosfato calcinado, farelado; FNR OCP + ÁH, pó; Fosfato Itafós Dusol, pó; FNR Bayovar, pó) são apresentados na Tabela 9. Para a somatória da TCH, com média total para Usina Vale do Pontal e Usina Guaíra, apresentaram respectivamente 207,47 t ha⁻¹ e 270,26 t ha⁻¹, sem diferir significativamente entre os tratamentos, mas numericamente apresentando o termofosfato farelado, na Usina Vale do Pontal, e o termofosfato granulado, na Usina Guaíra, como as melhores fontes, o que repete para a TAH, que apresentou diferenças significativas para Usina Guaíra, onde o termofosfato granulado, juntamente com o FNR OCP, o FNR OCP + ÁH e o FNR Bayovar, apresentaram estatisticamente superior a quantidade de açúcar por hectare produzido quando realizado a fosfatagem com as fontes Fosfato Natural Itafós Dusolo e Termofosfato farelado ou não realizado nenhuma aplicação.

TABELA 9. Análise de variância das variáveis acumuladas (tonelada de cana por hectares e tonelada de açúcar por hectare) em áreas distintas (usinas Vale do Pontal e Guaíra) com somatória de dois cortes consecutivos (cana-planta e cana-soca) em função da aplicação de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de diferentes fertilizantes fosfatados.

Fonte	Dose	Acumulado da tonelada de cana por hectare		Acumulado da tonelada de açúcar por hectare	
		----- t ha ⁻¹ -----		----- t ha ⁻¹ -----	
		Us. Vale do Pontal	Usina Guaíra	Us. Vale do Pontal	Usina Guaíra
		Cana-P+S	Cana-P+S	Cana-P+S	Cana-P+S
FNR OCP	100	201,48	275,89	23,96	41,59 a
FNR OCP + a	100	199,01	272,56	23,93	40,96 a
Bay	100	202,72	273,74	24,17	41,34 a
Ita	100	201,42	257,45	23,36	38,41 b
Termofosfato f	100	229,38	264,90	27,90	39,15 b
Termofosfato g	100	225,43	279,79	26,17	41,69 a
Cont		192,84	267,51	22,07	39,42 b
Média		207,47	270,26	24,51	40,37
C.V. (%)		10,39	4,21	11,05	4,07

*: p < 0,05; Cana-P + S: Somatória da cana-planta e cana-soca. Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem os tratamentos, na coluna, em cada local pelo teste de Skott-Knott (p < 0,05). Ausência de letras: não significativo (p > 0,05). Tratamentos: FNR OCP 100 - FNR OCP Heringer, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; FNR OCP + a 100 - FNR OCP Heringer com adição de ácido húmico, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Bay 100 - FNR Bayovar, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Ita 100 - Fosfato Itafôs Dusol, pó, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Termofosfato f 100 - termofosfato calcinado, farelado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Termofosfato g 100 - termofosfato calcinado, granulado, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Cont - controle (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

A indiferença de resposta quanto à granulometria das fontes estudadas pode ser consequência do longo período entre a aplicação da fonte e a avaliação das produções em cada área o que diluiu o efeito das diferentes granulometrias. A similaridade de resposta de produção entre os

tratamentos com fertilizantes fosfatados e o controle (sem fertilização fosfatada) pode ser atribuída à uniformização da fertilidade dos solos deste estudo no período avaliado. Outra evidência dessa uniformização dos efeitos da granulometria das fontes com o tempo após a aplicação é a similaridade observadas pelos contrastes (Scheffé) aplicados. As granulometrias de fontes (granulado, farelado e pó) não diferiram ($p > 0,05$) entre si qualquer usina ou corte avaliado. As médias dos contrastes na Usina Vale do Pontal foram $104,07 \text{ t ha}^{-1}$ (TCH), $119,32 \text{ kg t}^{-1}$ (ATR) e $10,94 \text{ t ha}^{-1}$ (TAH); na Usina Guaíra foram observados para o controle $135,74 \text{ t ha}^{-1}$ (TCH), $149,81 \text{ kg t}^{-1}$ (ATR) e $20,28 \text{ t ha}^{-1}$ (TAH) - contudo sem diferir estatisticamente dos demais tratamentos.

Sousa e Korndörfer (2014) indicaram que a aplicação de fertilizantes fosfatados não influenciou a produtividade da cana-planta, aumentou a produtividade da cana-soca e a quantidade de açúcar produzida por hectare, porém os fertilizantes fosfatados aplicados não afetaram as variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar. 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 recuperado.

Diferentes fontes de P (farinha de ossos, fosfato de Arad e superfosfato triplo), também não influenciaram a composição bromatológica da cana-de-açúcar (matéria seca original, proteína bruta, cinzas, componentes fibrosos, fibra insolúvel em detergente neutro, fibra insolúvel em detergente ácido, lignina, celulose) (CAIONE, 2011).

A produção de matéria seca e a qualidade nutritiva da composição mineral do sorgo sacarino (Poaceae) para a nutrição animal também não foram significativamente afetadas pela fonte de fósforo utilizada, seja o superfosfato triplo ou o termofosfato magnésiano, seja termofosfato acabado (fino), semiacabado ou grosseiramente acabado (SILVA, 1987), ou fosfatos naturais (RAMOS et al., 2009). Respostas similares de Poáceas entre as demais fontes de P e os termofosfatos, ou mesmo superiores por estes, são conhecidas há anos na literatura (GOEDERT; LOBATO, 1984; IEIRI et al., 2010; MIRANDA et al., 1970; SANTOS; SOUSA; KORNDÖRFER, 2012).

Para as análises de regressão, o FNR OCP, pó, na Usina Guaíra, conforme Tabela 4, a quantidade de açúcar total recuperável, não se ajustou significativamente aos modelos polinomiais de função linear ou quadrática ($p > 0,05$), ou apresentou coeficiente de determinação inferior a 0,70. O açúcar total recuperável variou entre $130,49 \text{ kg t}^{-1}$ de cana (0 kg ha^{-1} de P_2O_5) e $135,28 \text{ kg t}^{-1}$ de cana (50 kg ha^{-1} de P_2O_5). Ferreira et al. (1988) indicaram melhorias nas qualidades tecnológicas da cana-de-açúcar com a aplicação de doses crescentes de fertilizantes fosfatados, porém não detectou diferenças entre as fontes avaliadas

(multifosfato magnésiano e superfosfato triplo). As fontes de P também apresentaram respostas de produtividade e de sacarose aparente similares segundo as observações realizadas por Penatti, Donzelli e Forti (1997).

Os resultados variados observados no presente estudo refletem os resultados observados na literatura relacionada às respostas da aplicação de termofosfatos. Em geral são resultados positivos para o solo e as plantas, mas nem todas as condições irão gerar resultados acima da média, podendo apenas ser resultados similares ao controle (sem suplementação fosfatada). Esta variação de resposta é devida a uma série de variáveis que afetam a resposta das plantas às diferentes fontes e doses de fertilizantes fosfatados, como por exemplo: teor de P inicialmente presente no solo, teor de P solúvel presente na fonte (fertilizante fosfatado), modo de aplicação dessa fonte (área total ou no sulco de plantio), variedade da cana-de-açúcar, manejo do canavial, etc.

Estes resultados reafirmam a importância (essencialidade) do P para a cana-de-açúcar, porém também indicam que a aplicação de diferentes fontes e doses de P pode não se traduzir em respostas na produtividade da cana-de-açúcar em todos os cenários. Contudo, a fonte termofosfato calcinado se destacou positivamente na maioria das avaliações onde diferenças significativas foram identificadas ($p < 0,05$).

7. CONCLUSÕES

Fosfato natural reativo em diferentes doses apresentou crescimento linear para altura, Ca foliar e Mg foliar

Fosfato natural reativo com adição de ácido húmico apresentou superior nos teores foliares analisados em relação às demais fontes fosfatadas que foram avaliadas em dois cortes consecutivos da cana de açúcar.

Termofosfato calcinado granulado aplicado a lanço apresentou, em média, resultados superiores para TCH e biometria, com aumento de cerca de 15% para o diâmetro da cana-de-açúcar e desenvolvimento linear para altura e Mg foliar.

O termofosfato calcinado farelado apresentou no acumulado da TCH e TAH, os maiores valores para as condições da Usina Vale do Pontal, enquanto que para as condições da Usina Guaira, o destaque fica para o termofosfato calcinado granulado.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, A. G. **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, p. 253-280, 2007.
- BARBOSA, K.P. **Fontes e formas de aplicação de fertilizantes fosfatos em cultivos consecutivos de soja em latossolo de alta fertilidade**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia). Instituto Federal Goiano (Campus Rio Verde). 133 p. 2020.
- BENEDITO, D. S. **Eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforo e modelo do uso de fosfatos naturais**. 2007. 121 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.
- BEZERRA, P. S. S. **Substâncias húmicas e fontes de fósforo: teor de fósforo disponível em solos e absorção pela cana-de-açúcar**. 2014, 76 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2014.
- BORGES, M. A. **Fosfatagem com fosfato aluminoso calcinado em área de cana-de-açúcar**. 2019. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- BRAGA, G. N. M. **Tipos e obtenção de fertilizantes fosfatados**. 2010. Disponível: <https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2010/05/tipos-e-obtencao-dos-fertilizantes.html>. Acesso: 11 de março de 2020.
- 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.
- BULL, L. T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agrônômica. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 169-179, 1997.
- BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. I: Fracionamento sequencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.935-945, 2005.
- CAIEIRO, J. T.; PANOBIANCO, M.; BESPALHOK FILHO, J. C.; OHLSON, O. C. Physical purity and germination of sugarcane seeds (caryopses)(*Saccharum* spp.). **Rev. Bras. Sementes**, 32(2): 140-145, 2010.

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.; LANGE, A.; BENETT, C. G. S.; FERNANDES, F. M. Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.

CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S.; LIMA, G. S. A.; ARISTIDES, E.V.S. Acúmulo de nutrientes e produção de sacarose de duas variedades de cana-de-açúcar na primeira rebrota, em função de doses de fósforo. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 29, n. 1, p. 26-29, 2011.

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

CASTRO, L. R.; REIS, T. C.; FERNANDES JÚNIOR, O.; ALMEIDA, R. B. S.; ALVES, D. S. Doses e formas de aplicação de fósforo na cultura do milho. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 31, p. 47-54, 2016.

CHIEN, S. H.; SALE, P. W. G.; FRIESEN, D. K. A discussion of the methods for comparing the relative effectiveness of phosphate fertilizers varying in the solubility. **Fertilizer Research**, v. 24, p. 149-157, 1990.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; MIKKELSEN, R. Agronomic use of phosphate rock for direct application. **Better Crops**, v. 94, n. 4, p. 21-23, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Safra 2020/21**. v. 7, n. 3, p. 62. Dez. 2020.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CONSECAN. **Manual de instruções**. 5.ed. CONSECAN-SP, Piracicaba, p. 112, 2006.

COSTA, D. B. da; ANDRADE, P. K. B. de; SILVA, S. A. M. da; SIMÕES NETO, D. E.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, E. C. A. de. Adubação fosfatada em cana planta e soca em argissolos do Nordeste de diferentes texturas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 47-56, out./dez. 2014.

CRUZ, C. D. **Programa Genes - Aplicativo Computacional em Genética e Estatística**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1997. v. 1. 442 p.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DATAkana. **Consulcana**. 2019. Disponível em: <<http://www.datacana.com/v2/#>>. Acessado em 10 de outubro de 2019.

DEMATTE, J. L. I. **Cultura da cana-de-açúcar**. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. Visão agrícola, v. 1, p. 48-59, 2005.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDEL, M. G. A.; **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, ed 1, p. 882, 2008.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol – tecnologias e perspectivas**. 2 ed. Viçosa: Os Editores, p. 25-49, 2012.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573p. 2017.

EMBRAPA. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 32 p.

EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 412, 2009.

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.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, n. 2, p.36-41, 2008.

FERREIRA, E. S.; CACERES, N. T.; KORDORFER, G. H., FORTI, J. A.; FERREIRA, A. V.; MARTINS, J.; MATHIESEN, L. A.; MANEGATTI, C. A.; PENHA, J. C. **Uso de multifosfato magnésiano na adubação de plantio de cana-de-açúcar**. Centro de Tecnologia COPERSUCAR, Divisão de Agronomia. Piracicaba, SP. 1988. 17 p.

FERREIRA, M. M. R. **Adubação fosfatada em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente restritivo de cerrado**. 2015. 55 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2015.

FIGUEIREDO, P. 2010. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo de Campinas no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 31-44.

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, p. 120, 2006.

FRANCISCO, E. A. B.; CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; AUSTIN, E. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAYLOR, R. W. Characterization and greenhouse evaluation of brazilian calcined nonapatite phosphate rocks for rice. **Agronomy Journal**, v. 100, p.819-829, 2008.

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

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 15, p. 311-318, 1980.

GOMES, J. F. F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003. 65p.

GUALBERTO, C. de A. C.; SANTOS, G. A.; KORNDORFER, G. H. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar na região do Cerrado**. Nutrição e adubação de grandes culturas na região do cerrado. 1. ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2019, v. 1 p. 553-573.

HANSEL, F. D.; AMADO, T. J. C.; BORTOLOTO, R. P.; TRINDADE, B. S.; HANSEL, D. S. S. Influence of different phosphorus sources on fertilization efficiency. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, 2014, 7, 103-111. doi: 10.5935/PAeT.V7.N1.12

HERINGER FERTILIZANTES, **Fosfato natural reativo Heringer**: Produtividade e eficiência para a sua cultura. 2020. Disponível: http://www.heringer.com.br/heringer/web/conteudo_pti.asp?conta=45&tipo=29526&idioma=0; acesso: 15/03/2020.

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, 1980, p. 121-128. HUGHES, S.; CHU, E. K.; MASON, S. G. Introduction. In *Climate Change in Cities* Springer, Cham. p. 1-15, 2018.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: **Potafos**, p. 1-10, 2004.

KORNDÖRFER, G. H. Improving nutrient management in sugarcane cultivation. In: ROTT, P. **Achieving sustainable cultivation of sugarcane**: Burleigh Dodds Science Publishing. p. 29, 2018.

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.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2).

KORNDORFER, G. H.; RAMOS, L. A. Diagnose foliar em cana-de-açúcar. In: PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. **Nutrição de**

plantas: diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FUNDUNESP, 2008. v.1. 301 p.

KORNDÖRFER, G.H.; BENEDINI M.; PAULA F.B.; CHAGAS, R.C.S. Cimento como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.19, p.30-33, 2000.

KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; UCHOA, G.; DATNOFF, L.E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1071-1084, 2001.

LOPES, A. S; SILVA, C. A. P; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: YAMADA, T; ABDALLA, S. R. S (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato. 2004. p. 11-34.

MAEDA, A. S. **Adubação nitrogenada e potássica em socas de cana-de-açúcar com e sem queima em solos de cerrado.** 2009. 110f. Tese de doutorado (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MAGRO, J. A.; GLÓRIA, N. A. 1985. Emprego de adubos fosfatados na fertilização de plantio da cana-de-açúcar. **STAB**. Jan-Fev, p. 9-11.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Ceres, p. 638, 2006.

MANCIN G. R. **Manejo de modos e fontes de fósforo na produção e qualidade da cana planta (*Saccharum spp.*).** Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassunga, 2018.

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

MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; PEREIRA, H.S.; MENEZES, G.M.; TAGLIARINI, C.H. Influência da compactação no desenvolvimento do sistema radicular de citros: sugestão de método qualitativo de avaliação e recomendação de manejo. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v.15, n.2, p.263-275, 1994.

MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils.** New York, Oxford University Press, 1994. 406 p.

MENDONÇA, M. F. **Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar sob níveis de adubação nitrogenada e lâminas de irrigação.** Tese em Engenharia Agrícola do cerrado de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de campina Grande, 2019.

MIRANDA, L.T.; VIEGAS, G. P.; FREIRE, E. S.; IGUE, T. Adubação do milho, XXVII — Ensaio com diversos fosfatos (10^a série). **Bragantia**, v. 29 n. 28. 1970.

MORELLI, J. L.; DEMATTÊ, J. L. I.; SILVA, J. A. V.; BAPTISTELLA, J. R.; GIOVANETTI, L. Z. Efeitos da aplicação do superfosfato simples em área total e dentro do sulco. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB; CONVENÇÃO DA ACTALAC, 13., 1987, Olinda. **Anais...** Olinda: [s.n.], 1987, p. 76-83.

MORETTO, J. L.; BÜLL, L. T.; ITO, B. R. Índice de eficiência agrônômica de termofosfatos em solos com diferentes concentrações iniciais de fósforo. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2017, Belém. **Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2017.

NASCIMENTO, K. P. M.; GALVÃO, J. R.; ALVES, K. F.; BARBOSA, M. F.; VIANA, T. C.; JESUS, A. M. B. S.; LIMA, L. M.; OLIVEIRA, C. A. G. Fontes fosfatadas e micronutrientes são relevantes na cultura do milho. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, p. 1-14, 2019.

NICCHIO, B. **Avaliação da mistura de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre aplicados em solos de diferentes texturas**. 2018. 39f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

NICCHIO, B.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; ARRIETA, R. G.; NASCIMENTO, I. R.; SANTOS, G. A. Fuentes alternativas de fósforo em suelos del “cerrado” cultivados con maíz (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.4, n.1, p.1-9. 2019.

NOLLA, A.; MARI, M. A.; CASTALDO, J. H.; SORACE, M.; MOTA NETO, L. V.; DAMY, C. R. S. Characterization and potential of organic and mineral phosphate fertilizer used in the annual agriculture. **Scientific Electronic Archives**, 2018. 11(3), 6–15.
<https://doi.org/10.36560/1132018509>

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

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. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-537.

ONO, F. B.; MONTAGNA, J.; NOVELINO, J. O.; SERAFIM, M. E.; DALLASTA, D. C.; GARBIATE, M. V. E 2009 Eficiência agrônômica de superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciênc. Agrotec.**, vol. 33, n 3, pp. 727-734.

ORLANDO FILHO, J; MACEDO, N; TOKESHI, H. **Seja o doutor do seu canavial**. Informações Agrônômicas. Encarte especial, Piracicaba, n. 67, p. 1-16, 1994

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso do fósforo: Uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Quim. Nova**, vol. 39, n. 6, p. 732-740, 2016.

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.

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

PENATTI, C. P.; DONZELLI, J. L.; FORTI, J. A. Fontes de fósforo em cana-planta. In: Seminário Coopersucar de Tecnologia Agrônômica, 7., 1997. Piracicaba, **Anais...** Coopersucar, Piracicaba, SP. 1997. p. 364-370.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. e (Ed.). **Fósforo na Agricultura Brasileira, Piracicaba**, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. p. 605-651.

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

RAMOS, L. A. **Resíduos orgânicos e fertilizantes minerais na cultura da cana-de-açúcar e alterações nas características químicas do solo**. 2013. 90f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.; BOLDRIN, P. F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 335-343, 2009.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. REETZ, H. F.; tradução: Alfredo Scheid Lopes, São Paulo: ANDA, p. 178, 2017.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; GOMES, J. D.; NUNES, R. S.; KORNDÖRFER, G. H. **Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no Cerrado**. Circular Técnica 29, EMBRAPA, Planaltina/DF, 2015.

RIBEIRO, F. C.; SILVA, J. I. C.; SARAIVA, A. S., BARRO FILHO, C. D., ARAÚJO, R. J. T., ERASMO, E. A. L.; Cana de açúcar no cenário energético tocantinense: influência da adubação química sobre variáveis agroindustriais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v.4, n.2, p.24-37, 2015.

RODELLA, A. A.; MARTINS, M. Efeitos de fontes e formas de aplicação de fósforo na produtividade da cana-de-açúcar em cana-planta. **Álcool e Açúcar**, n. 8, v. 45, p. 26-32. 1988.

ROSSETO, R. R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; PRADO JUNIOR, J. P. Q. Fósforo. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 271-288, 2010.

ROSSETO, R.; DIAS, F. L. F. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões**. Encarte do Informações Agrônômicas. Nº 110. 2005.

ROY, E. D.; RICHARDS, P. D.; MARTINELLI, L. A.; COLETTA, L. D.; LINS, S. R. M.; VAZQUEZ, F. F.; WILLING, E.; SPERA, S. A.; VANWEY, L. K.; PORDER, S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, v. 2, p. 16-43, 2016.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, p. 576-586, 2008.

SANTOS, E. F.; DONHA, R. M. A.; ARAÚJO, A. M. M.; LAVRES JÚNIOR, J.; CAMACHO, M. A. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1651-1658. 2013.

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.

SANTOS, A. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Lucratividade em função do uso e índice de eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados aplicados em pré-plantio de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 846-851. 2012.

SCHUELER, T. A., DOURADO, M. L.; RIZZO, A. C. L. **Processos biotecnológicos para a solubilização de rochas fosfáticas** – O estado da arte. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, P. 45, 2019.

SÉKULA, C.R. **Características químicas do solo e produção de grandes culturas com rochagem e biofertilizantes**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, p. 61, 2011.

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

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; ARANTES, M. T.; PINCELLI, R. P. Fenologia da cana-de-açúcar. In: **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. CRUSCIOL, C. A. C et al. (Eds.). Botucatu: FEPAF. p. 8-21, 2010.

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

SILVA, M.C.; COSTA, F.R.; LEANDRO, W.M.; JUNIOR, A.F.L.; SILVA RODRIGUES, L.; SILVA BIANCA, D. Eficiência de uso de termofosfato de alumínio como fonte de fósforo na produção de feijão em casa de vegetação, em solos do cerrado. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 8, n. 5, 2015.

SILVA, N. M. A. **Efeito relativo do superfosfato triplo e do termofosfato sobre a produção e qualidade nutritiva do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L) Moench)**. Piracicaba: ESALQ, 1987.

SOUSA Jr, P. R. **Modos de aplicação e doses de fósforo na cana-de-açúcar em distintos manejos de solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016.

SOUSA, R. T. X. **Phosphate fertilizers for sugarcane used in pre-planting (phosphorus fertilizer application)**. 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

SOUZA FILHO, L. F. S. **Formas de fósforo em Latossolo sob Cerrado em função do tempo de uso agrícola**. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 127 p. 2014.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004a. p. 107-114.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: **Correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Informação Tecnológica, ed. 6, p. 416, 2004b.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 2., Brasília, 2008. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais: **Anais...** Planaltina, Embrapa Cerrados, 2008. CD ROM.

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.

STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES Inc. **SPSS statistics for Windows**, version 17.0. Chicago: SPSS Inc, 2008.

STEFANUTTI, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKAET, T. Recuperação do fósforo residual do solo derivado de um termofosfato magnesiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, p. 233-238, 1995.

TASSO JUNIOR, L.C.MARQUES, M.O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. Extração e exportação de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do Estado de São Paulo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, p. 38-42, 2007.

TOLEDO, M. C. M. Os fosfatos aluminosos da série da crancadallita – uma revisão. **Revista Instituto Geológico**, p. 49-63, 1999.

VALE, D. W.; PRADO, R. M.; AVALHÃES, C. C.; HOJO, R. H. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 2, p. 189-196, 2011.

van RAIJ, B. CANTARELA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. IAC - Boletim Técnico 100, 2. ed. Campinas, 1997. 285 p.

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

VELOSO, C. A. V.; SILVA, A. R.; CARVALHO, E. J. M.; SLVEIRA FILHO, A. **Produção de grãos de milho sob manejo da adubação fosfatada em Latossolo amarelo distrófico no Oeste Paraense**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 17 p.

VERMA J. P., ABDEL-SALAM G. ABDEL-SALAM. **Testing Statistical Assumptions in Research**. John Wiley & Sons, Inc. 2019.

VIGNA, G. P. **Uso da trifluralina gold nortox da cana-de-açúcar**. Informativo técnico Nortox, 2018. Disponível: <http://www.nortox.com.br/wp-content/uploads/2018/05/informativo-artigo-08-Gustavo.pdf>. Acesso: 30/12/2020.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Informações agronômicas. Piracicaba: Potafós, 2002. 16 p.