



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

**FERTILIZANTES FOSFATADOS PARA A CANA-DE-AÇÚCAR APLICADOS
EM PRÉ – PLANTIO (FOSFATAGEM)**

ROBSON THIAGO XAVIER DE SOUSA

ROBSON THIAGO XAVIER DE SOUSA

**FERTILIZANTES FOSFATADOS PARA A CANA-DE-AÇÚCAR APLICADOS
EM PRÉ – PLANTIO (FOSFATAGEM)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

ROBSON THIAGO XAVIER DE SOUSA

**FERTILIZANTES FOSFATADOS PARA A CANA-DE-AÇÚCAR APLICADOS
EM PRÉ – PLANTIO (FOSFATAGEM)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 07 de Fevereiro de 2011.

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UFG

Dra. Raffaella Rosseto

APTA

Dra. Lilian Aparecida de Oliveira

USP/CNPq

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Pedro Humberto de Sousa e Neiry Any Xavier de Sousa, aos meus irmãos
Deny Rodrigo e Luara Thatianna, a minha noiva Adriana Bárbara Rocha e a todos
aqueles que de uma forma ou de outra fazem parte da minha vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que Ele tem me proporcionado, pelo fato de conduzir minha vida, guiar meus passos. Aos meus familiares e irmãos na fé que sempre me apoiaram, pelo carinho, atenção e amizade proporcionada em diversos momentos.

Às grandes companheiras de pós-graduação Ana Paula dos Santos e Lucélia Alves Ramos, pelo fato de estarem sempre ao meu lado desde o início de minha vida acadêmica, e por nunca medirem esforços em colaborarem para meu crescimento como profissional e pessoa.

A todos do Núcleo de Solos, principalmente a secretária Valéria Moreira Custódio Santos, agradeço também a todos demais estagiários do LAFER.

Aos meus grandes amigos Eudes Aparecido Caetano Moura, Ralph Barbosa Rodrigues Alves, Giordhane Bruno Carpaneda Gimenes e Wilian Araújo Santos.

Às minhas amigas Dalcimar Regina Batista Wangen e Lílían Aparecida Oliveira, que sempre estiveram disponíveis para ajudar-me sempre que solicitadas.

Ao Rogério Augusto Brem Soares, Patrícia Rezende Fontoura, Edgar Alves da Silva, Ivan Gomes Santos e aos demais técnicos da Usina Açucareira Jalles Machado (Goianésia - GO) que cederam toda a infra-estrutura disponível para instalação e condução do experimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudos que possibilitou a execução deste trabalho e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, pelo conhecimento compartilhado.

À Dra. Raffaella Rosseto e ao Dr Hamilton Seron Pereira, membro da Banca Examinadora, pela valiosa colaboração na leitura e sugestões.

À Dra. Lilian Aparecida de Oliveira, membro da Banca Examinadora, pela atenção e contribuição, fundamentais ao aprimoramento deste trabalho.

Em especial ao meu orientador Gaspar Henrique Korndörfer pela confiança, orientação, ajuda, amizade e experiências compartilhadas durante todos esses anos.

Muito obrigado!

EPÍGRAFE

“Uma série de pequenas vontades faz um grande resultado.”

Charles Baudelaire

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REFERENCIAL TEÓRICO	03
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	03
2.2 Fósforo	03
2.2.1 O fósforo na nutrição mineral de plantas	03
2.2.2 Dinâmica e formas de fósforo no solo	05
2.2.3 Fertilizantes fosfatados	06
2.3 Adubação fosfatada na cana-de-açúcar	08
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Instalação e condução do experimento	14
3.2 Avaliações do experimento	16
3.2.1 Avaliações no campo e coleta periódica de material vegetal	16
3.2.2 Colheita do experimento	17
3.2.3 Análises tecnológicas das amostras de cana-de-açúcar	17
3.2.4 Cálculo do índice de eficiência agronômica (IEA)	18
3.2.5 Análise econômica	18
3.3 Análise estatística	18
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	19
4.1 Altura, teores foliares e produtividade da cana-de-açúcar	19
4.2 Índice de eficiência agronômica (IEA)	25
4.3 Variáveis tecnológicas	28

5 CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS	33

RESUMO

SOUSA, ROBSON THIAGO XAVIER DE. **Fertilizantes fosfatados para a cana-de-açúcar aplicados em pré – plantio (fosfatagem)**. 2011. 40 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

A fosfatagem é ainda uma prática pouco utilizada na cultura da cana-de-açúcar e pode ser feita com fertilizantes fosfatados de efeito residual longo. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de fertilizantes fosfatados aplicados em área total antes do plantio da cana-de-açúcar na produção de colmos e qualidade da matéria prima de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido na Usina Jalles Machado, no município de Goianésia-GO durante três anos agrícolas. Os tratamentos foram constituídos de cinco fertilizantes fosfatados, solúveis e insolúveis na dose equivalente a 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os fertilizantes usados foram: superfosfato triplo, monoamônio fosfato (MAP), fosfato natural reativo de Arad, fosfato natural de Itafós e termofosfato magnésiano. Para avaliar os efeitos imediatos e residuais destes fertilizantes, foram utilizados parâmetros tais como: altura de plantas (altura do solo até TVD), teor foliar de fósforo, produtividade da cana-de-açúcar na cana-planta, soca e ressoca, análise tecnologia na soqueira, quantidade de açúcar produzido e índice de eficiência agrônômica dos fertilizantes utilizados. Na cana planta a adubação fosfatada proporcionou maior altura de plantas com a aplicação do termofosfato magnésiano e do superfosfato triplo. As concentrações de fósforo (P) nas folhas de cana-planta indicaram superioridade do MAP, termofosfato-magnésiano e superfosfato-triplo. A fosfatagem não influenciou a produtividade da cana-planta, porém aumentou a produtividade da cana soca bem como a quantidade de açúcar produzida por hectare. De uma forma geral, o efeito residual dos fosfatos insolúveis aumentou no decorrer dos anos. O Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) dos fosfatos diminuiu na seguinte ordem: Superfosfato triplo (100 %) > Termofosfato (89%) > MAP (80%) > Fosfato Itafós (67%) > Fosfato Arad (60%).

Palavras - chaves: Fosfato natural, termofosfato magnésiano, mono-amônio fosfato, fosfato reativo.

¹Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU (Orientador)

ABSTRACT

SOUSA, ROBSON THIAGO XAVIER DE. **Phosphate fertilizers for sugarcane used in pre-planting (Phosphorus fertilizer application)**. 2011. 40 p. Dissertation (Master degree in Agriculture/Soils) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Phosphate application is still rarely used in sugarcane and can be done with phosphorus fertilizers of long residual period. This study evaluated the effect of phosphate fertilizers applied in the whole area before planting on sugarcane yield and technological quality. The study was done at Jalles Machado sugar-mill, in Goianésia-GO, during three growing seasons. The treatments consisted of five different phosphorus sources, soluble and insoluble, applied in the rate equivalent to 300 kg ha⁻¹ P₂O₅. The fertilizers used were: triple superphosphate, mono-ammonium phosphate (MAP), Arad phosphate rock, Itafós phosphate rock and magnesium thermophosphate. The effects of these fertilizers were evaluated by analysis of plant height (height from ground to TVD), leaf phosphorus content, sugarcane yield in cane plant, first ratoon and second ratoon, by technology parameters in ratoon, by sugar produced and by agronomic efficiency. Application of magnesium thermophosphate and triple superphosphate resulted in greater plant cane height. Leaf concentrations of phosphorus in cane showed the superiority of MAP, magnesium thermophosphate and triple superphosphate. Phosphate applications did not affect yield of cane plant, but increased yield of sugarcane ratoon as well as the amount of sugar produced per hectare. In general, the residual effect of insoluble phosphates increased over the years. The Agronomic Efficiency Indices (AEI) of phosphate decreased in the following order: Triple superphosphate (100%)> Thermophosphate (89%)> MAP (80%)>Itafós phosphate rock (67%)> Arad phosphate rock (60 %).

KEY WORDS: rock phosphate, magnesium thermophosphate, mono-ammonium phosphate, phosphate reactivity.

¹Supervisor: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU (Advisor)

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar vem crescendo nas usinas tradicionais e em novos empreendimentos que estão sendo instalados nas últimas safras, em áreas do oeste do estado de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e na região Norte e Nordeste do Brasil. A tecnologia aplicada no setor canavieiro, em termos de agricultura avançada, é notável. As variedades são desenvolvidas para ambientes e manejos específicos, os métodos de preparo do solo e conservação, tratos culturais, manejo de doenças e pragas, uso de maturadores e inibidores de florescimento, desenvolvimento de plantio e colheita mecanizados, aplicação de técnicas gerenciais específicas à produção são fatos comprovados no setor. As usinas são modernas e o uso da informática, de tecnologias como automação de plantio e colheita, é intensivo e crescente. A busca de novas alternativas, como agregação de valores, cogeração de energia elétrica e novos sistemas de administração, são constantes.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção estimada pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) da safra 2010/2011 de 625,0 milhões de toneladas, numa área de 8.033,6 mil hectares. Este volume representa um aumento de 8,4% do obtido na safra passada, ou seja, 57,2 milhões de toneladas adicionais do produto. Em relação à área total, o Estado de São Paulo representa 54,23% (4.357,01 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,1% (649,94 mil hectares), Paraná com 7,25% (582,32 mil hectares), Goiás com 7,46% (599,31 mil hectares), Alagoas com 5,46% (438,57 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 4,93% (396,16 mil hectares) e Pernambuco com 4,32% (346,82 mil hectares) (CONAB, 2011).

Entre os macronutrientes essenciais às plantas de cana-de-açúcar, o fósforo é o maior limitante da sua produção na maioria dos solos brasileiros, sendo necessária a prática da adubação fosfatada (RAIJ, 1991). Isso, pelo fato de que os fosfatos apresentam formas pouco disponíveis aos vegetais, devido às suas características físicas e químicas, entre elas principalmente a solubilidade e o processo de fixação de fósforo nos solos. Assim, para suprir as necessidades de fósforo no solo de cultivo, têm se aplicado quantidades elevadas desse elemento (CARVALHO et al.1995; KORNDÖRFER, 1990).

Os fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura podem ser agrupados em solúveis e insolúveis. A adubação fosfatada no cultivo de cana-de-açúcar tem sido realizada com aplicação, na maioria das vezes, de fontes solúveis, o que tem elevado o

custo da adubação de plantio na cultura. Por outro lado, existe a disponibilidade no mercado de fontes de fósforo de baixa solubilidade conhecida como fosfatos naturais e reativos, que possuem um menor custo. Estas fontes têm maior efeito residual e como o ciclo da cana planta de 18 meses e 12 meses para a cana soca, há uma tendência de favorecimento do aproveitamento das fontes menos solúveis, como é o caso dos fosfatos naturais. De uma forma geral, a eficiência dos fosfatos solúveis em água é maior a curto prazo, enquanto a eficiência dos fosfatos naturais aumenta com o tempo decorrido da sua aplicação ao solo, sendo que alguns fosfatos naturais têm demonstrado eficiência semelhante aos das fontes mais solúveis.

Experimentos de longa duração são fundamentais para as recomendações de manejo e aplicação da adubação fosfatada, uma vez que permitem contornar problemas relativos às inconstâncias das respostas observadas em anos isolados e avaliar um forte condicionante da eficiência, que é o efeito residual dos fosfatos. A aplicação de fertilizantes fosfatados antes do plantio da cana-de-açúcar (fosfatagem) pode trazer um incremento na produtividade com o desenvolvimento da cultura e a eficiência dos fertilizantes insolúveis pode melhorar com o passar dos anos a ponto de trazerem ganhos em produção semelhantes aos fertilizantes solúveis.

Considerando esses aspectos relacionados à importância econômica da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e os aumentos de produção que o fósforo pode proporcionar a esta cultura, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de fertilizantes fosfatados aplicados em área total antes do plantio da cana-de-açúcar na produção de colmos e qualidade da matéria- prima de cana-de-açúcar durante três anos agrícolas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras servindo como matéria-prima de grande flexibilidade. Além de ser considerada fonte de alimentação animal por produzir açúcar, produz álcool de vários tipos, a exemplo do etanol, usado como biocombustível, bebidas como cachaça, licor, rum e vodka e gera eletricidade a partir do bagaço via álcoolquímica. Da cana-de-açúcar se aproveita absolutamente tudo: bagaço, méis, torta e resíduos de colheita (UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO, 2006).

Em função da extensão territorial, o cultivo da cana-de-açúcar ocorre em épocas alternadas e nas mais variadas condições climáticas. Possivelmente, o Brasil é o único país com duas épocas de colheita anuais: a safra de parte da Região Nordeste vai de setembro a abril e a do Centro-Sul e demais regiões vão de maio a dezembro, correspondendo aos períodos mais secos nessas regiões (ALFONSI et al., 1987).

O ambiente de produção de cana-de-açúcar é definido em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, adição de vinhaça, torta de filtro e palha, do controle de ervas daninhas e pragas. Associadas com as condições de subsuperfície dos solos e ao clima regional (precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar, evaporação) e ainda, com o grau de declividade onde os solos ocorrem na paisagem (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

A extração de nutrientes que a cana-de-açúcar necessita para uma produção de 100 t ha⁻¹ é da ordem de 143 kg de nitrogênio (N), 43 kg fósforo (P₂O₅), 210 kg potássio (K₂O), 87 kg cálcio (Ca), 49 kg magnésio (Mg) e 44 kg enxofre (S). No caso dos micronutrientes são necessários 7,318 g de ferro (Fe), 2,470 g de manganês (Mn), 592 g de zinco (Zn), 339 g de cobre (Cu), e 235 g de boro (B) (ORLANDO FILHO, 1993).

2.2 Fósforo

2.2.1 O fósforo na nutrição mineral de plantas

O fósforo é considerado como o elemento mais limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo um nutriente essencial para o seu metabolismo (GOEDERT; SOUSA, 1984). Nas plantas, o fósforo faz parte da estrutura de ésteres de carboidratos, fosfolipídeos, coenzimas e ácidos nucléicos, auxiliando nos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, sínteses, multiplicação e diferenciação celular, armazenamento e transferência de energia, transferência de gene, reprodução e na fixação biológica de nitrogênio (MALAVOLTA et al., 1997; LOPES, 1998; KORNDORFER, 2004; STAUFFER; SULEWSKI, 2004; ALEXANDER, 1973) e, conseqüentemente, no maior rendimento e produtividade final da cultura. Sendo que o maior conteúdo do elemento ocorre nos centros de maior atividade, como a região de crescimento e assimilação de carbono (MEYER, 1980; CESNIK; MIOCQUE, 2004).

O fósforo promove um bom desenvolvimento do sistema radicular, o que permite aumentar a eficiência das plantas no uso da água, promovendo menor perda de água, absorção e a utilização de outros nutrientes, além de servir como mecanismo de defesa da planta aos estresses provocados por doenças e fatores climáticos (LOPES, 1998; STAUFFER; SULEWSKI, 2004; MALAVOLTA, 1967; CLEMENTS, 1980; CESAR et al, 1987).

O fósforo está tão fortemente ligado aos processos metabólicos da planta da mesma forma que o nitrogênio, é móvel nos tecidos da planta, ficando concentrado nas regiões de crescimento mais ativo. Desta forma, o conteúdo de fósforo em folhas secas é consideravelmente menor do que o encontrado em folhas verdes, o que caracteriza a translocação deste elemento de tecidos maduros para os mais jovens (MALAVOLTA et al., 1997; LOPES, 1998; STAUFFER; SULEWSKI, 2004).

A falta do fósforo causa distúrbios severos e imediatos no metabolismo e desenvolvimento das plantas (CESAR et al., 1987; LOPES, 1998; STAUFFER; SULEWSKI, 2004). Os sintomas na cana-de-açúcar aparecem inicialmente nas folhas mais velhas, apresentando-se mais finas, estreitas, curtas e arroxeadas. Ocorre também redução na brotação e no perfilhamento, na altura das plantas, e no diâmetro do colmo, além do encurtamento dos entrenós, raízes curtas e atrofiadas (HAAG et al., 1987; ORLANDO FILHO, 1994; KORNDORFER, 2004), principalmente as secundárias, acarretando redução na produtividade

devido ao inadequado suprimento de água e nutrientes (MEYER, 1980).

2.2.2 Dinâmica e formas de fósforo no solo

As plantas nutrem-se retirando da solução do solo o fósforo necessário para seu desenvolvimento. O fósforo na solução do solo está em equilíbrio com formas de diferentes graus de solubilidade na fase sólida. Os teores de fósforo na solução dos solos da maioria dos solos brasileiros são geralmente muito baixos. Essa característica, associada à alta capacidade que esses solos têm para reter o fósforo na fase sólida, é a principal limitação para o desenvolvimento de qualquer atividade agrícola rentável sem a aplicação de adubos fosfatados (SOUSA; LOBATO, 2004). Estudos no bioma do cerrado têm confirmado que 65% dos solos são fortemente deficientes em fósforo e 26,6% são medianamente deficientes (ROCHE et al., 1980), sendo constante o uso de grandes quantidades de fertilizantes fosfatados em adubações para proporcionar maiores produtividades.

Sua baixa disponibilidade nos solos cultivados é uma das maiores limitações aos ganhos em produtividade das culturas agrícolas, especialmente em Latossolos do Brasil (GOEDERT, 1985). O fósforo aplicado no solo sofre reações químicas com a fase mineral, resultando em formas pouco disponíveis às culturas. Como regra geral, as culturas aumentam sua produtividade com as adubações fosfatadas de plantio, e as quantidades de fósforo exportadas do campo com as colheitas são pequenas em relação ao fósforo aplicado na sequência de cultivos (MEYER, 1980).

No solo, a mobilidade do fósforo é mínima e, conseqüentemente, suas perdas por lixiviação são desprezíveis. Sua baixa mobilidade causa um grande acúmulo do nutriente no solo ao longo de alguns anos de cultivo como uma consequência do efeito residual ou do que sobra do aplicado no ano anterior e não utilizado pela planta (SOUSA; LOBATO, 2004). KÄMPRATH (1977).

As formas químicas de fósforo podem estar desigualmente distribuídas em cinco compartimentos: precipitado com Al, Fe ou Ca (fósforo precipitado), adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila (fósforo adsorvido), em solução (fósforo solução), na forma orgânica (fósforo orgânica) ou fazendo parte dos compostos marcadamente insolúveis (fósforo mineralogicamente estável). Esses compartimentos exibem diferentes capacidades de “fixação”

(retenção) e, portanto, de liberação do fósforo como nutriente disponível às raízes das plantas na solução do solo. Em quaisquer deles, em função do pH, o fósforo ocorre nas formas iônicas H_2PO_4^- (fosfato diácido), HPO_4^{2-} (fosfato monoácido) ou PO_4^{3-} (fosfato) (KAMPRATH, 1977; VOLKWEISS; RAIJ, 1977; RAIJ, 1991).

A disponibilidade máxima do fósforo acontece quando o pH está ao redor de 6,5. Valores mais baixos de pH favorecem a formação de fosfatos de Fe e de Al de baixa solubilidade, enquanto a sua elevação conduz a precipitação do fósforo (solução) como fosfatos de cálcio de menor disponibilidade. Além do pH, a importância relativa dos compostos no solo é condicionada pelo tipo e quantidade de minerais existentes na fração argila (MALAVOLTA, 1980).

O “fósforo solução” ou (fator intensidade) representa o fósforo dissolvido (H_2PO_4^-) e prontamente disponível como nutrientes às plantas, em concentrações muito baixas (NOVAIS; SMITH, 1999). Da solução, os ânions H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , movimentam-se por difusão até a superfície das raízes onde são absorvidos, sendo esse processo dependente entre outros fatores do conteúdo de água no solo (SILVEIRA; MOREIRA, 1990; VILLANI et al., 1993; LOPES, 1998). Há, portanto, uma diminuição do “fósforo solução”, que é compensada com a adubação fosfatada ou pela liberação das formas “fósforo precipitado” e “fósforo adsorvido” (VOLKSWEISS; RAIJ, 1977; NOVAIS; SMITH, 1999). Estas formas capazes de manter um equilíbrio mais ou menos rápido de reesuprimento do “fósforo solução”, foram denominadas “fósforo lábil” (fator quantidade) por Larsen (1967). O restante do fósforo entra em equilíbrio com “fósforo solução” muito lentamente, sendo chamada de “fósforo não lábil” (NOVAIS; SMITH, 1999). Campello et al. (1994) verificaram que a reversibilidade de fósforo não-lábil para lábil em solos com diferentes características foi muito pequena.

2.2.3 Fertilizantes fosfatados

As principais fontes de fósforo utilizadas na agricultura são obtidas industrialmente pelo tratamento de rochas fosfáticas com ácidos. De acordo com Prochnow et al. (2004), podem ser divididas em: a) fosfatos naturais (rocha fosfatada moída, com eficiência agrônômica variável, dependendo da mineralogia); b)

termofosfatos (processo térmico com consumo de elevada quantidade de energia); c) fosfatos totalmente acidulados (acidulação total); e d) fosfatos alternativos (parcialmente acidulados, compactados entre outros). Os principais fosfatos totalmente acidulados pertencem ao grupo dos superfosfatos, constituído pelos superfosfatos simples e triplo e pelos fosfatos amoniados, constituído pelos fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP). Entre estes, o MAP, superfosfato simples e triplo são os fertilizantes fosfatados mais utilizados na agricultura para aumentar a quantidade de fósforo disponível para as plantas (LOPES et al., 2004).

A garantia desses produtos fertilizantes é sempre feita com base na quantidade de P_2O_5 solúvel em soluções extratoras como: água (H_2O), ácido cítrico (AC) e citrato neutro de amônio (CNA) (GOEDERT; SOUSA, 1984; ALCARDE; PROCHNOW, 2004; PROCHNOW et al., 2004; SOUSA; LOBATO, 2004) de tal forma que contenham elevada fração de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O também solúvel em água (84% a 92%) de acordo com as garantias mínimas previstas na legislação brasileira (PROCHNOW et al., 2004).

Segundo Lehr (1980) citado por Biasioli (2003), quando rochas fosfáticas de elevada qualidade e baixa concentração de impurezas catiônicas são utilizadas para a fabricação de fertilizantes totalmente acidulados, obtêm-se formas de fósforo que apresentam elevada solubilidade em água, as quais são prontamente disponíveis a absorção pelas plantas. No entanto, observa-se que as rochas fosfáticas brasileiras apresentam altos índices de contaminantes, sendo estes principalmente óxidos de Fe e Al, os quais diminuem a solubilidade em água desses fertilizantes (ALCARDE; PROCHNOW, 2004). Devido a estes contaminantes, uma quantidade mais elevada de rocha fosfática terá que ser utilizada na fabricação de fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, aumentando os custos para as indústrias, além do maior gasto energético para a purificação das mesmas (BIASIOLI, 2003).

A característica mais importante da fonte é a sua eficiência agronômica, a qual expressa sua capacidade de promover o maior acréscimo de rendimento por unidade de fósforo aplicado (GOEDERT; SOUSA, 1984; SOUSA; LOBATO, 2004). Um produto com baixa solubilidade em ácido cítrico e citrato neutro de amônio, apresenta poucas chances de apresentar uma eficiência agronômica aceitável (GOEDERT; SOUSA, 1984). Quispe (2004) verificou que a eficiência agronômica relativa das fontes com menor solubilidade em água foi maior no solo de mais elevada capacidade de fixação de fósforo quando da aplicação de doses mais baixas de fósforo.

Em geral, a eficiência dos fosfatos industriais solúveis em água é maior a curto prazo, enquanto a eficiência dos fosfatos naturais aumenta com o tempo decorrido da sua aplicação ao solo, sendo que alguns fosfatos naturais têm demonstrado eficiência semelhante aos das fontes mais solúveis. A eficiência dos fosfatos naturais relaciona-se, principalmente, com sua origem, com o tamanho de suas partículas, com as propriedades do solo, com a cultura a ser implantada e com o tempo decorrido da sua aplicação (HOROWITZ; MEURER, 2004). É importante que haja reação completa entre o fertilizante e o solo, ocorrendo, em algum tempo, a dissolução completa do produto original adicionado. Se a reação for muito rápida, há o risco de parte substancial do fósforo ser imobilizada; mas por outro lado, se a reação for muito lenta, a velocidade de reposição de fósforo em solução não seria adequada para o crescimento normal das plantas (GOEDERT; SOUSA, 1984).

Os fosfatos totalmente acidulados têm mais de 90% do fósforo total solúvel em CNA, dissolvem-se rapidamente no solo e são praticamente equivalentes quanto à capacidade de fornecimento de fósforo às plantas. São utilizados principalmente na forma de grânulos, com a finalidade de diminuir o volume de solo com o qual reagem, reduzindo o processo de insolubilização, além de facilitar o manuseio e a aplicação (SOUSA; LOBATO, 2004). Segundo GOEDERT; SOUSA (1984) é importante considerar também, os efeitos secundários positivos como a composição do fertilizante em termos de outros nutrientes ou compostos que induzem efeitos positivos no solo, isoladamente ou em interação com outros fertilizantes ou corretivos.

Os fosfatos naturais sedimentares (fosforitas) são originários de rochas sedimentares, resultantes do acúmulo e consolidação de materiais degradados de rochas pré-existentes. O fosfato natural é considerado reativo quando 30% do fósforo total for solubilizado em solução de ácido cítrico (2%). Neste grupo se enquadram os fosfatos extraídos do norte da África (GAFSA; DAOUI), Israel (Arad) e Estados Unidos (Carolina do Norte) (BRAITHWAITE et al., 1990). Estes materiais são de baixo custo e podem ser utilizados fazendo parte de estratégias de adubação fosfatada nas culturas.

2.3 A adubação fosfatada na cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar ocupa áreas deficientes em fósforo tendo na adubação fosfatada o suporte para obtenção e manutenção de altas

produtividades. Devido à pouca mobilidade no solo, o grande poder residual e de fixação, aliado a não perda por lixiviação, o fósforo vem sendo aplicado no sulco de plantio da cana-de-açúcar com excelentes resultados (ORLANDO FILHO, 1993), pois nessa posição o elemento se encontra mais próximo da maior concentração de raízes, importantes para o início do desenvolvimento e estabelecimento da cultura (ESPIRONELO, 1989).

Zambello Junior e Azeredo (1983) sugerem que uma maior aplicação desse elemento por ocasião do plantio da cana-de-açúcar, visando nutrir a cana planta e as soqueiras subsequentes podem ser interessante devido a uma série de fatores, como o maior efeito residual dos adubos fosfatados, baixa mobilidade do fósforo no solo e a pequena extração do nutriente pela cultura ($0,13 \text{ kg t}^{-1}$ de colmo produzido), ainda evidenciaram que a resposta ao fósforo tem sido baixa em solos tradicionalmente cultivados com cana-de-açúcar e naqueles com elevados teores naturais de fósforo. Analisando dados de dez ensaios do IAA/Planalsucar os autores verificaram que maiores respostas ocorreram da dose de 0 a 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , afirmando que a dose econômica provavelmente estaria entre 80 e 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Marinho et al. (1976) e Haag et al. (1987), observaram efeito depressivo do fósforo quando usado em níveis superiores a 100 kg ha^{-1} , principalmente em cana soca e em solos não deficientes em fósforo. Já quando aplicado em doses baixas e médias (50 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5) em solos deficientes neste nutriente, o fósforo teve efeito crescente na Pol da cana e na pureza. Segundo Marinho et al. (1976), o efeito depressivo do fósforo, em níveis altos na qualidade do caldo da cana, juntamente com a pequena reação desses níveis altos na produção de açúcar em cana soca, é de grande importância na economia com adubação na região. Nessas condições, o uso de altas dosagens por ocasião do plantio visando maior efeito residual poderia prejudicar a utilização de micronutrientes como o zinco (LONERAGAN et al., 1979) e a disponibilidade de cálcio, dependendo da fonte e dos teores do nutriente no solo (ADAMS, 1982). Já Pereira et al. (1995), verificaram efeito de níveis e do tipo de resíduo do fósforo em cana-de-açúcar, observaram que a Pol da cana não variou com níveis crescentes de fósforo aplicados no solo até 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo o rendimento de açúcar por hectare determinado pela melhoria na produtividade.

Oliveira (2008), estudando o comportamento de onze variedades de cana-de-

açúcar em condições de irrigação em solo de textura média, verificou que o colmo apresentou teores médios de 0,2 a 0,8 g kg⁻¹ de fósforo. Moura Filho (2006), também, estudando extração de macronutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar, obteve resultados decrescentes de conteúdo de fósforo nas partes da planta na seguinte ordem: colmos > ponteiros > folhas > folhas senescentes.

O teor de fósforo nativo do solo pode afetar a concentração de P₂O₅ no caldo da cana-de-açúcar, ou seja, quanto maior o teor de fósforo extraível do solo, maior a quantidade de P₂O₅ no caldo. Embora não seja a forma mais eficiente e econômica, a adubação fosfatada contribui de maneira significativa para aumentar o teor de P₂O₅ do caldo e, com isto, melhorar o processo de clarificação (ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR, 1980; KORNDORFER; MARTINS, 1992; PEREIRA et al., 1995). O fósforo funciona como um agente floculador, carreando as impurezas do caldo para o fundo do decantador, daí a sua importância no processo industrial (KORNDORFER, 2004).

ALBUQUERQUE et al. (1980) e ALBUQUERQUE; MARINHO (1982), em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Alagoas, verificaram que, a resposta da cana a adubação fosfatada dependia da disponibilidade de fósforo no solo e que não houve esta resposta quando os teores no solo foram iguais ou superiores a 9 mg dm⁻³. Já ALBUQUERQUE; MARINHO (1983), dizem que a perspectiva de resposta a adubação fosfatada em solos com teores superiores a 16 mg dm⁻³ é muito pequena. Em ampla revisão sobre adubação fosfatada nessa cultura, Espironelo (1989), verificou que as respostas a doses de fósforo só foram observadas em solos pobres no nutriente ou naqueles que não foram adubados antes. Em solos cultivados e que receberam adubações continuadas às respostas foram pequenas ou não existiram.

DEMATTÊ (2005), considerando uma produção, ao longo de cinco colheitas, de 400 toneladas de cana-de-açúcar, fez um cálculo sobre o balanço de fósforo no solo, utilizando uma dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio, determinou uma extração de 0,43 kg de fósforo por tonelada de massa verde e fixação de fósforo de 30%. Nesse balanço constatou-se déficit de fósforo, que deveria ser repostado nas soqueiras. O pesquisador atenta, ainda, para que a acidez do solo nas socarias seja monitorada e que, a saturação por bases (V%) seja sempre maior que 40%, caso contrário não haverá resposta ao fósforo adicional colocado no solo em socaria.

A adubação fosfatada da cana-de-açúcar tem sua recomendação de acordo com as diversas regiões produtoras do país e até mesmo dentro de cada estado. A dose a ser

aplicada depende dos teores de fósforo disponível nos solos e da produtividade esperada. A resposta a adubação fosfatada em cana soca é variável. No estado de São Paulo, Korndorfer (2004), destaca que existem algumas unidades de produção que durante muitos anos suprimiram o fósforo em soqueira sem observar o declínio da produtividade. No entanto, o autor afirma que é possível observar resposta positiva a adubação com fósforo na soqueira, principalmente quando o solo recebeu calagem e onde o cálcio no solo não é limitante. Conforme demonstrado por Ferreira et al. (2007) os solos que receberam calcário e fósforo, simultaneamente, apresentaram-se estatisticamente iguais aos solos que receberam somente fósforo, devido ao fato de que o calcário adicionado ao mesmo tempo com o fósforo, favorece o processo de precipitação do fósforo por compostos de cálcio.

Korndorfer e Alcarde (1992) observaram que depois de 34,5 meses mais de 30% do aumento nos teores de fósforo disponível do solo oriundos da adubação de plantio ainda permaneciam no solo. Destacam que o efeito residual do fósforo no solo oriundo de fertilizantes tende a ser maior na cana-de-açúcar do que em culturas anuais devido à localização no fundo do sulco de plantio e ausência de movimentação do solo durante quatro anos ou mais, período de vida útil dos canaviais. Os autores observaram que a aplicação de fósforo em socaria aumentou o perfilhamento, produção de matéria verde e seca, obtendo resultados semelhantes para produção de colmos e açúcar em soca e ressoca. O aumento médio de produção foi de 11 t ha^{-1} com a aplicação de apenas 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 na cana soca. O efeito residual de 50 kg ha^{-1} , aplicados logo após o primeiro corte foi suficiente para aumentar a produção de colmos de 74 t ha^{-1} para 81 t ha^{-1} na ressoca. Observou-se que, as maiores diferenças de produção entre a testemunha e o tratamento que recebeu 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 na socaria, ocorreu quando não foi feita adubação fosfatada na cana planta. Esse efeito na soqueira também foi observado em experimentos realizados em áreas canavieiras de Pernambuco e Paraíba (FIGUEIREDO FILHO et al., 1996).

O parcelamento do fósforo no plantio de cana-de-açúcar e em socaria mantém níveis adequados de nitrogênio e fósforo, promovendo um melhor desenvolvimento do sistema radicular, principalmente em solos com elevada soma de bases em profundidade, particularmente de cálcio e a ausência de alumínio (RIBEIRO et al., 1984; DIAS et al., 1999), o que contribuiria para uma

maior estabilidade da produtividade, considerando-se que as socarias representam mais de 70% de toda cana moída na safra. Esse parcelamento é geralmente realizado através da tríplice operação, com os propósitos de descompactação, adubação química e controle de ervas daninhas (PAULINO et al., 2004), sendo o adubo colocado ao lado da linha da cana e em profundidade, disponibilizando o elemento em contato com um maior volume de raízes.

As formas químicas das fontes de fósforo também têm que ser considerada quando se realiza adubação fosfatada. Os fosfatos solúveis apresentam melhor reação, com rentabilidade bastante superior aos fosfatos de baixa solubilidade (ZAMBELLO JUNIOR; ORLANDO FILHO, 1981). Albuquerque et al. (1980), estudando a competição entre fontes de fósforo solúvel e insolúvel em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Alagoas, observaram que nos solos com teores inferiores a 5 mg dm^{-3} , a aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de fosfato solúvel (superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato diamônico e fosfato bicálcico) foram superiores ao hiperfosfato, proporcionando resposta significativa na produção da cana. Devido a sua insolubilidade, o hiperfosfato não foi capaz de promover um melhor desenvolvimento da cultura. Esta incapacidade para nutrir a planta foi confirmada aos 5 meses, quando se determinou o teor do elemento na folha em torno de 0,07%, valor considerado muito baixo. O estudo econômico feito com os dados da análise conjunta para cana mostrou que houve um retorno de 4, 12, 12, 16 e 9 unidades para cada unidade monetária investida para hiperfosfato, superfosfatos simples e triplo, fosfato diamônico (DAP) e fosfato bicálcico, respectivamente. Já Rein (1994) relata que os termofosfatos apresentam eficiência superior aos fosfatos solúveis, atribuindo, também, essa maior eficiência a presença de alguns elementos na fórmula destes produtos, como silício e magnésio, que podem aumentar consideravelmente a produção de gramíneas como a cana-de-açúcar.

Lima Filho et al. (1982), estudando doses, fontes e sistema de aplicação de fósforo em cana planta, encontraram respostas significativas por tonelada de cana, açúcar por hectare e porcentagem de Pol da cana, atribuídos ao baixo teor do elemento no solo. Os maiores acréscimos nas produções foram obtidos com a aplicação de fosfatos solúveis. Na dose de 75 kg ha^{-1} , o fospal apresentou 55% da eficiência da mesma quantidade de fosfatos solúveis, enquanto o hiperfosfato e o Yoorin apresentaram 81% e 91%, respectivamente. Verificaram ainda, que a dose de 50 kg ha^{-1} aplicada no sulco de plantio na forma de superfosfato triplo produziu 80 t ha^{-1} ,

mostrando ser mais importante que quando aplicado em área total. Altas doses de fosfatos solúveis no fundo do sulco e em área total mostraram decréscimo da porcentagem de Pol da cana.

Korndorfer et al. (1989), estudando a eficiência de fontes de fósforo na produtividade da cana, verificaram a ordem de importância: superfosfato simples e triplo, ácido fosfórico, ácido mais rocha fosfatada. Os autores atribuem a maior eficiência do superfosfato simples às quantidades de cálcio adicionadas ao solo por essa fonte, enquanto que a menor eficiência apresentada pela mistura está associada a baixa solubilidade do fosfato de Araxá e a sua localização no fundo do sulco. Já Weber et al. (1993) observaram que os fosfatos naturais apresentaram eficiência agrônômica de no máximo 45%. Rossetto et al. (2002), estudando fontes de fósforo para cana-de-açúcar como superfosfato triplo e fosfato natural, obtiveram ganhos expressivos de produtividade da ordem de até 36% em solo arenoso para as duas fontes, enquanto que em solos argilosos, o fosfato natural promoveu aumentos de 9% a 11% na produtividade, quando aplicado ao sulco ou a lanço. O superfosfato triplo, entretanto, promoveu aumento de 19%. O melhor desempenho do solo arenoso foi atribuído pelos autores ao fato de nesse solo não ter havido fixação do fósforo, o que aconteceria em solo argiloso.

Albuquerque et al (1980), estudando a resposta da cana-de-açúcar a combinações de Monofosfato diamônico (DAP) e hiperfosfato concluíram que na mesma dosagem (150 kg ha^{-1}) na forma de hiperfosfato em solos com menos de 5 mg dm^{-3} não foi suficiente para o desenvolvimento normal da cultura. Os resultados da análise foliar aos 5 meses, demonstram que os teores foliares aumentaram com o menor teor de fósforo no solo e com o maior percentual de DAP em associação com hiperfosfato, sendo os maiores valores alcançados quando todo fósforo foi aplicado na forma de DAP. Efeito na mistura não foram observados por Cantarella et al. (2002), utilizando misturas em diferentes proporções de superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Daoui, não observaram efeitos na produção de colmos ou de açúcar.

Figueiredo Filho (2002), estudando hiperfosfato natural Gafsa com fontes solúveis e misturas nos Estados de Alagoas e Pernambuco, não obteve diferenças de produtividade agrícola e industrial na cana cultivada em solos com as diferentes fontes e concluiu que o hiperfosfato natural Gafsa demonstra boas qualidades técnicas, alertando para utilização desse fosfato natural como promissora fonte de fósforo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Instalação e condução do experimento

O experimento com cana-de-açúcar, cultivar RB86-7515, foi instalado em março de 2006 em uma área de cultivo comercial de propriedade da Usina Jalles Machado, no município de Goianésia, GO, situada na Fazenda Porteirinhas 72, bloco 8, talhão 123, latitude 15,3344° S e longitude 48,8628° W, onde foi conduzido por três anos agrícolas. Esta área apresentou precipitação pluviométrica acumulada de 2128, 1255 e 1440 milímetros, médias mensais de 112, 193 e 120 milímetros de chuva no período de cultivo da cana planta, soca e ressoça, respectivamente. (Figura 1).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Ácrico, textura argilosa, o qual apresentou 458 g kg⁻¹ de argila e caracterização química conforme apresentado na tabela 1.

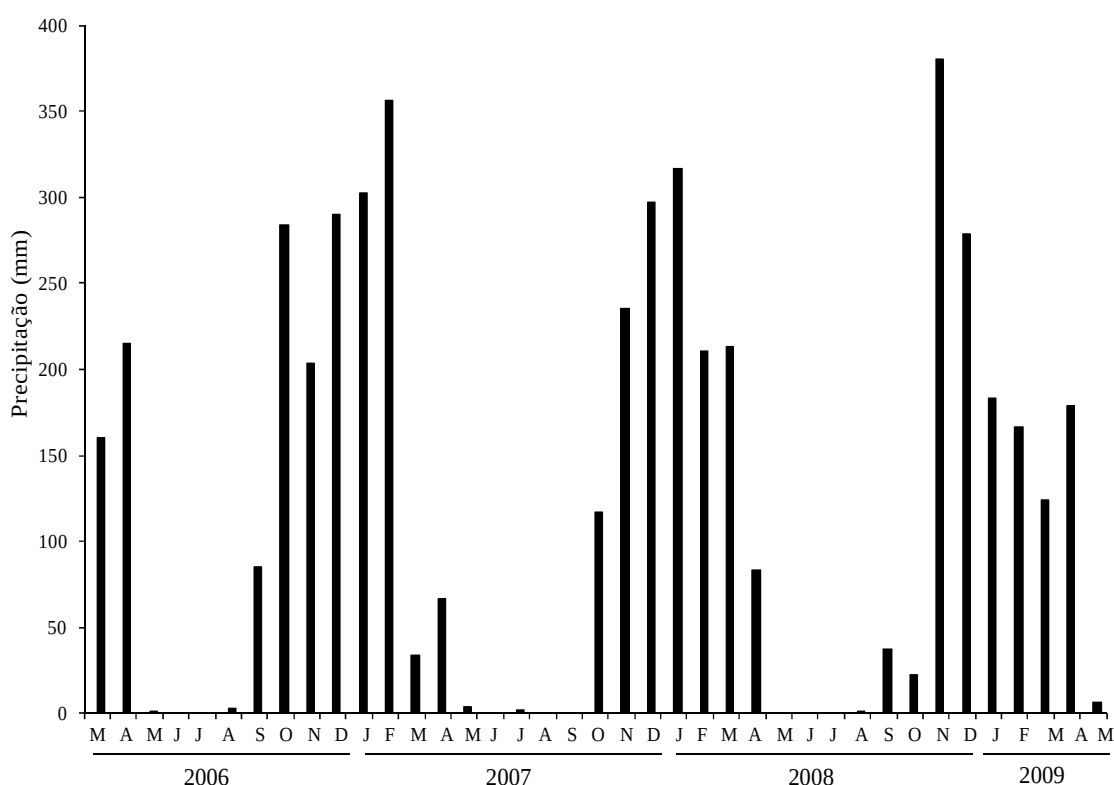


FIGURA 01. Precipitação pluviométrica mensal acumulada da Fazenda Porteirinha, no período entre março de 2006 e maio de 2009.

TABELA 01. Caracterização química das amostras do Latossolo Vermelho Ácrico, da área onde foi instalado o experimento.

Prof.	Ph	P	K ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	M.O.
Cm		-- mg dm ⁻³ -		-----		cmol _c dm ⁻³ -----				--- % ---		g kg ⁻¹
00-20	4,8	0,4	50,7	0,2	1,1	0,5	1,73	1,93	2,05	84	3,1	31

pH – CaCl₂; Pⁱ - Extrator Resina de troca catiônica; Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L⁻¹; K - Extrator Mehlich (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); t - CTC efetiva; T - CTC potencial (a pH 7,0); V - saturação por bases; m - saturação por alumínio (Embrapa, 1999). Mo – método calorimétrico.

A aplicação dos tratamentos foi realizada em parcelas experimentais com seis linhas de cana-de-açúcar, espaçadas entre si em 1,5 m, com 10 m de comprimento, totalizando uma área útil de 90 m². O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 6 tratamentos, compreendendo 5 fertilizantes fosfatados: superfosfato triplo, monoamônio fosfato (MAP), fosfato reativo de Arad, fosfato natural Itafós o termofosfato magnésiano Yoorin e uma testemunha. Cada tratamento teve 5 repetições, totalizando 30 parcelas.

A caracterização química e a solubilidade das fontes de fósforo encontram-se na tabela 2. Os fosfatos foram aplicados antes do plantio, a lanço em área total e incorporados com grade niveladora, na dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (doses calculadas com base no P₂O₅ total da fonte). Após a aplicação das fontes de fósforo, em Janeiro de 2006, o solo foi cultivado com crotalária por 60 dias, a qual foi tombada superficialmente com o auxílio de uma grade. Após esses 60 dias, o solo foi sulcado para receber os toletes de cana. Em seguida, procedeu-se o plantio da cana-de-açúcar, com a distribuição manual dos colmos dentro dos sulcos e logo após foi realizada a picação, para quebrar os efeitos da dominância apical. Os tratos culturais (herbicida, adubação, quebra lombo, etc) foram conduzidos de acordo com os tratos estabelecidos pela Usina Jalles Machado.

TABELA 02. Concentração de nutrientes e solubilidade das fontes de fósforo utilizadas no experimento.

Fertilizantes	P ₂ O ₅			Total	Outros elementos
	Água	CNA ¹ + H ₂ O	Ácido Cítrico ²		
	----- % -----				
Superfosfato Triplo	37	41	--	42	13 (Ca)
Monoamônio fosfato (MAP)	44	48	--	52	11 (N)
Fosfato reativo de Arad	--	--	10	33	37 (Ca)
Fosfato natural Itafós	--	--	7	24	13 (Ca)
Termofosfato Magnésiano (Yoorin)	--	--	16	18	18 (Ca); 10 (Si); 7 (Mg).

¹ CNA – Citrato Neutro de Amônio

² Ácido Cítrico a concentração de 2% 1:100

No plantio da cultura da cana-de-açúcar, foram aplicados 400 kg ha⁻¹ de 04-28-20 no sulco de plantio mais 50 kg ha⁻¹ de N (uréia líquida) e 120 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl líquido). Já a adubação da soqueira e da ressoca consistiu da aplicação de 4,5 t ha⁻¹ de cama de frango (2,84% de P₂O₅ total; 2,8% de N e 3,9% de K).

3.2 Avaliações do experimento

3.2.1 Avaliações no campo e coleta periódica de material vegetal

Durante o ciclo da cana planta e soqueiras foram feitas duas avaliações de altura de plantas, obtidas através da medida de 20 colmos, escolhidos ao acaso na área útil da parcela. Sendo que esta medida correspondeu à altura do colmo desde o nível do solo até o TVD (*top visible dewlap*), isto é, última lígula visível, que corresponde à terceira folha a partir do ápice. Essa avaliação ocorreu aos nove meses depois da instalação do experimento, para a cana planta e aos dez dias antes da colheita da cana soca, segundo corte.

Para a análise foliar de fósforo foram feitas três coletas a campo: aos oito meses após a instalação do experimento, para a cana planta, aos seis meses após o primeiro corte, para a cana soca e um ano após o segundo corte, para a cana ressoca. Cada amostra foi composta pelo terço médio de 20 folhas (primeira folha da planta com o dewlap visível). Essas amostras foram lavadas em solução contendo água e detergente neutro, posteriormente foram enxaguadas em água corrente e depois em água destilada.

Retirou-se a nervura central de cada folha, acondicionando-as em sacos de papel com furos, as quais foram para secar em estufa de circulação de ar, a 65 °C, até atingirem o peso constante. Após seco, o material foi moído em moinho tipo Willey, e acondicionado em sacos plástico identificados até ser submetido à análise laboratorial.

3.2.2 Colheita do experimento

Após 19 meses de cultivo, em outubro de 2007, foi realizada a colheita da cana planta, seguida da adubação da cana soca com cama de frango. Essa cana soca foi colhida após 6 meses e meio de cultivo, em maio de 2008. Já no terceiro corte a ressoca, a colheita ocorreu após um ano de cultivo, em maio de 2009. Todas as etapas da colheita foram realizadas manualmente após a queima da cana. Para a obtenção da produtividade da cana-de-açúcar, cada parcela experimental foi colhida individualmente e, em seguida, os colmos foram pesados com o auxílio de uma célula de carga de tração (Técnica D-5000) com capacidade para 1000 kg.

3.2.3 Análises tecnológicas das amostras de cana-de-açúcar

Para realização da análise das variáveis tecnológicas na cana soca e na ressoca, foram coletadas, ao acaso, dez plantas de cana seguidas na linha central de cada parcela experimental. As amostras de folhas processadas tiveram o teor de fósforo analisados pela metodologia descrita por Bataglia et. al., (1978). Já os colmos, coletados no final do experimento, foram analisados no Laboratório de Análises Tecnológicas da Usina Jalles Machado, considerando a análise do Brix do Caldo, Fibra da Cana, Pol do Caldo, Pol da cana, Pureza da Cana e Pureza do caldo. Para tanto, adotou-se a metodologia empregada pela Usina Jalles Machado, os quais seguem os métodos descritos por Glória e Rodela (1972) e Copersucar (1980). Essas variáveis podem ser descritos como (FERNANDES, 2003):

Brix do Caldo: expressa a porcentagem peso/peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose, ou seja, mede o teor de sacarose na solução. Por consenso, admite-se o brix como a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em solução açucarada impura, por exemplo, o caldo extraído da cana.

Fibra da Cana: é a matéria insolúvel em água contida na cana.

POL: é definida como a quantidade de sacarose, em porcentagem, presente na cana ou no caldo da cana-de-açúcar.

Pureza da Cana: é determinada pela relação POL/Brix x 100. Quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria-prima para se recuperar açúcar. Todas as substâncias que apresentam atividade óptica podem interferir na POL, como açúcares redutores (glicose e frutose), polissacarídeos e algumas proteínas.

Pureza do Caldo: porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis.

3.2.4 Cálculo do índice de eficiência agronômica (IEA)

Utilizando a soma da produção de três cortes calculou-se o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) dos fosfatos da seguinte maneira (KORNDORFER; MELO, 2009):

$$IEA = \frac{\text{produção de colmos com fosfato} - \text{produção de colmos sem fósforo}}{\text{Produção de colmos com superfosfato triplo} - \text{produção de colmos sem fósforo}} \times 100$$

3.2.5 Análise econômica

Utilizando a diferença de produtividade entre os tratamentos que receberam aplicação de fertilizantes fosfatados e a testemunha, soma dos três cortes da cana-de-açúcar, calculou-se o lucro estimado com a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de fertilizantes fosfatados antes do plantio da cana-de-açúcar levando em consideração o preço do kg de P₂O₅ pago na usina, o custo de aplicação desses fertilizantes, o ganho de produtividade dos fertilizantes fosfatados em relação à testemunha e o preço médio pago pela tonelada de cana-de-açúcar.

3.3 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variâncias, empregando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Altura, teores foliares e produtividade da cana-de-açúcar.

Na cana planta, os fertilizantes superfosfato triplo, termofosfato yoorin e o monoamônio fosfato (MAP) foram os mais eficientes em aumentar a altura de plantas (Tabela 3). O termofosfato yoorin, apesar de ser insolúvel em água é praticamente todo solúvel em meio ácido (Tabela 2), o que pode explicar o melhor desempenho desta fonte em relação ao fosfato itafós que possui baixa solubilidade do P_2O_5 em ácido cítrico (Tabela 2). Já no segundo corte (cana soca) a altura das plantas não foram influenciadas pelos tratamentos, como mostra a tabela 3. Factor (2008), trabalhando com a variedade RB 72454, em estágio de cana planta não encontrou influencia dos fertilizantes fosfatados na altura das plantas avaliadas aos 180 dias após o plantio.

TABELA 3. Efeito da aplicação de 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar sobre a altura da cana planta e cana soca, variedade RB867515.

Fertilizantes	Altura de plantas	
	Cana planta	Cana soca
	----- metros -----	
Testemunha	0,90 c	2,16
Superfosfato Triplo	1,04 a	2,23
Monoamônio fosfato	1,00 abc	2,28
Fosfato reativo de Arad	0,92 bc	2,21
Fosfato natural Itafós	0,90 c	2,25
Termofosfato Yoorin	1,02 ab	2,26
C.V. (%)	5	4
DMS	0,10	n.s

Médias na mesma coluna, seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância

A falta de respostas das diferentes fontes de fósforo na cana soca pode ter ocorrido devido à aplicação homogênea (em todos os tratamentos) de $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de cama de frango, com 2,84% de P_2O_5 . Pois segundo Korndorfer e Alcarde (1992), a aplicação

de fósforo em socaria aumenta o perfilhamento, produção de matéria verde e seca, obtendo resultados semelhantes para produção de colmos e açúcar em soca e ressoca. Porém esses autores observaram ainda que as maiores diferenças de produção entre a testemunha e o tratamento que recebeu 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 na socaria, ocorreu quando não foi feita adubação fosfatada na cana planta. Esse efeito na soqueira também foi observado em experimentos realizados em áreas canavieiras de Pernambuco e Paraíba (FIGUEIREDO FILHO et al., 1996).

A aplicação dos fertilizantes fosfatados acarretou no aumento do teor foliar de fósforo em relação à testemunha (Tabela 4), apesar de Malavolta et al (1980) e Raij; Cantarella (1996) considerarem que os níveis de fósforo observados no tecido foliar serem baixos, os autores consideram teores adequados entre $1,5$ a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$. Estes resultados indicam que uma parte do fósforo proveniente do fertilizante fosfatado foi absorvido pela cana-de-açúcar, sendo que, onde foram aplicados os fertilizantes monoamônio fosfato (MAP), termofosfato yoorin e superfosfato triplo as folhas das plantas de cana-de-açúcar apresentaram os maiores teores de fósforo. Em folhas coletadas na mesma época, nove meses após o plantio, Maule et al. (2001) encontraram teores foliares variando de $1,5$ a $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ para Planossolo e Argissolo Vermelho, respectivamente. Já Korndorfer e Alcarde (1992), verificaram que não houve diferença entre as fontes superfosfato triplo e simples, ácido fosfórico e ácido fosfórico + fosfato natural, quanto ao acúmulo de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar, os quais foram de $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$, considerando-se a nervura central. E ainda, Malavolta et al. (1997), demonstraram valores de dezesseis variedades de cana-de-açúcar, variando de $2,0$ a $2,6 \text{ g kg}^{-1}$. Já Oliveira (2008), estudando o comportamento de onze variedades de cana-de-açúcar em condições de irrigação em solo de textura média, verificou que o colmo apresentou teores médios de $0,2$ a $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ de fósforo. Moura Filho (2006), também, estudando extração de macronutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar, obteve resultados decrescentes de conteúdo de fósforo nas partes da planta na seguinte ordem: colmos > ponteiros > folhas > folhas senescentes.

A produtividade da cana planta não foi influenciada pela aplicação dos diferentes fertilizantes fosfatados no 1º corte (Tabela 4). Apesar disso, percebe-se que os tratamentos que apresentaram uma maior produção foram os mesmos que apresentaram maiores teores de fósforo nas folhas e altura de planta (Tabela 4). A diferença de produtividade em relação à testemunha foi de 21% (Termofosfato yoorin), 19% (Superfosfato triplo), 13% (MAP), 8% (Fosfato de Arad e Itafós), o efeito da

fosfatagem neste caso foi em parte mascarada devido a dose de fósforo aplicada no sulco de plantio (112 kg ha^{-1} de P_2O_5) na instalação do experimento. De acordo com Lima Filho et al. (1982) respostas de adubação fosfatada podem ser encontradas em solos com baixo teor do elemento no solo. Albuquerque et al (1980), estudando a resposta da cana-de-açúcar a combinações de Monofosfato diamônico (DAP) e hiperfosfato concluíram que a dosagem de 150 kg ha^{-1} na forma de hiperfosfato em solos com menos de 5 mg dm^{-3} não foi suficiente para o desenvolvimento normal da cultura.

TABELA 4. Efeito da aplicação de 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar sobre o teor foliar de fósforo e produtividade agrícola, safra 2006/2007, variedade RB867515.

Fertilizantes	CANA PLANTA - 1º Corte	
	Fósforo foliar (P)	Produtividade
	g kg^{-1}	t ha^{-1}
Testemunha	1,0 c	70,2
Superfosfato Triplo	1,4 ab	83,8
Monoamônio fosfato	1,5 a	79,4
Fosfato reativo de Arad	1,3 b	75,9
Fosfato natural Itafós	1,3 b	76,0
Termofosfato Yoorin	1,5 a	85,1
CV (%)	8	11
DMS	0,20	n.s.

Médias na mesma coluna, seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Não houve diferença para os teores de fósforo nas folhas no segundo corte (Tabela 5), mas percebe-se que esses valores foram superiores aos da cana planta, como mostrado na tabela 6. De acordo com Raij e Cantarella (1996) os teores de fósforo (P) encontrados na soqueira podem ser considerados adequados ($1,5$ a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$), com exceção do tratamento testemunha e do tratamento com fosfato de Itafós, os quais ficaram abaixo de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$.

A produtividade foi influenciada pela aplicação de fertilizantes no segundo corte (Tabela 5), assim como no terceiro corte (Tabela 6). No segundo corte não se

verificou diferença na produtividade entre os tratamentos que receberam aplicação de fertilizantes fosfatados antes do plantio da cana-de-açúcar, porém todos foram superiores à testemunha. Esses resultados diferem de Marinho et al. (1976) e Haag et al. (1987), os quais observaram efeito depressivo do fósforo quando usado em níveis superiores a 100 kg ha⁻¹, principalmente em cana soca e em solos não deficientes em fósforo. Nessas condições, o uso de altas dosagens por ocasião do plantio visando maior efeito residual poderia prejudicar a utilização de micronutrientes como o zinco (LONERAGAN et al., 1979) e a disponibilidade de cálcio, dependendo da fonte e dos teores do nutriente no solo (ADAMS, 1982).

TABELA 5. Efeito da aplicação de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar sobre no teor foliar de fósforo e produtividade agrícola da cana soca, safra 2007/2008, variedade RB867515.

Fertilizantes	CANASOCA - 2º Corte	
	Fósforo foliar (TVD)	Produtividade
	g kg ⁻¹	t ha ⁻¹
Testemunha	1,3	62,8 b
Superfosfato Triplo	1,6	80,1 a
Monoamônio fosfato	1,9	78,2 a
Fosfato reativo de Arad	1,7	73,5 a
Fosfato natural Itafós	1,4	75,5 a
Termofosfato Yoorin	1,6	75,7 a
CV (%)	20	6,7
DMS	n.s.	10,0

Médias na mesma coluna, seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância

No terceiro corte, a produtividade observada no tratamento que recebeu o fertilizante superfosfato triplo foi superior à testemunha e os restantes dos tratamentos não diferiram estatisticamente do superfosfato triplo e nem da testemunha. No terceiro corte os tratamentos influenciaram nos teores de fósforo nas plantas, sendo que os tratamentos que receberam superfosfato triplo, fosfato natural de Arad e MAP foram superiores a testemunha, mas não foram estatisticamente diferentes aos tratamentos que receberam termofosfato Yoorin e fosfato natural de Itafós (Tabela 6). Os teores foliares observados no presente trabalho refletem os níveis de fósforo do solo e demonstram

que a cultura teve suprimento adequado do nutriente durante o ciclo da ressoça.

TABELA 6. Efeito da aplicação de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar sobre o teor foliar de fósforo e produtividade agrícola da cana soca, safra 2008/2009, variedade RB867515.

Fertilizantes	CANA 3º CORTE – RESSOCA	
	Fósforo foliar	Produtividade
	g kg ⁻¹	t ha ⁻¹
Testemunha	1,3 b	77,0 b
Superfosfato Triplo	1,6 a	103,7 a
Monoamônio fosfato	1,6 a	98,6 ab
Fosfato reativo de Arad	1,6 a	95,5 ab
Fosfato natural Itafós	1,5 ab	98,0 ab
Termofosfato Yoorin	1,5 ab	98,4 ab
CV (%)	7,5	13,9
DMS	0,05	23,4

Médias na mesma coluna, seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância

A produtividade da cana soca é variável quanto à resposta a adubação fosfatada em cana soca. No Estado de São Paulo existem algumas unidades de produção de cana que por muitos anos suprimiram a aplicação de fósforo na soqueira, sem observar declínio na produtividade. É possível, entretanto, observar resposta positiva a adubação com fósforo na soqueira, principalmente quando o solo recebeu calagem e onde o cálcio no solo não é limitante (KORNDÖRFER, 2004). A produtividade da ressoça foi superior em relação ao segundo corte, o que pode ser explicado devido ao período que a cana foi cultivada, seis meses no segundo corte e doze meses no terceiro corte (Tabelas 5 e 6). O que pode ter ocorrido devido ao efeito residual da fosfatagem, pois Korndorfer e Alcarde (1992) observaram o efeito residual do fósforo no solo oriundo de fertilizantes tende a ser maior na cana-de-açúcar do que em culturas anuais devido à localização no fundo do sulco de plantio e ausência de movimentação do solo durante quatro anos ou mais, período de vida útil dos canaviais. Os autores observaram que a aplicação de fósforo em socaria aumentou o perfilhamento, produção de matéria verde e

seca, obtendo resultados semelhantes para produção de colmos e açúcar em soca e ressoça.

Quando analisado a soma dos três cortes de cana, verificou-se que aquelas cultivadas no solo que recebeu as fontes superfosfato triplo, termofosfato Yoorin e MAP foram superiores à testemunha, mas não foram diferentes dos fosfatos naturais de Itafós e Arad, os quais não apresentaram diferenças com relação à testemunha (Figura 2). O ganho de produção em relação à testemunha foi de 27% (Superfosfato triplo), 26% (Termofosfato Yoorin), 22% (MAP), 19 e 17% (Fosfato de Itafós e Arad, respectivamente). Albuquerque et al. (1980), estudando a competição entre fontes de fósforo solúvel e insolúvel em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Alagoas, observaram que nos solos com teores inferiores a 5 mg dm^{-3} , a aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de fosfato solúvel (superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato diamônico e fosfato bicálcico) foram superiores ao hiperfosfato, proporcionando resposta significativa na produção da cana. Devido a sua insolubilidade, o hiperfosfato não foi capaz de promover um melhor desenvolvimento da cultura.

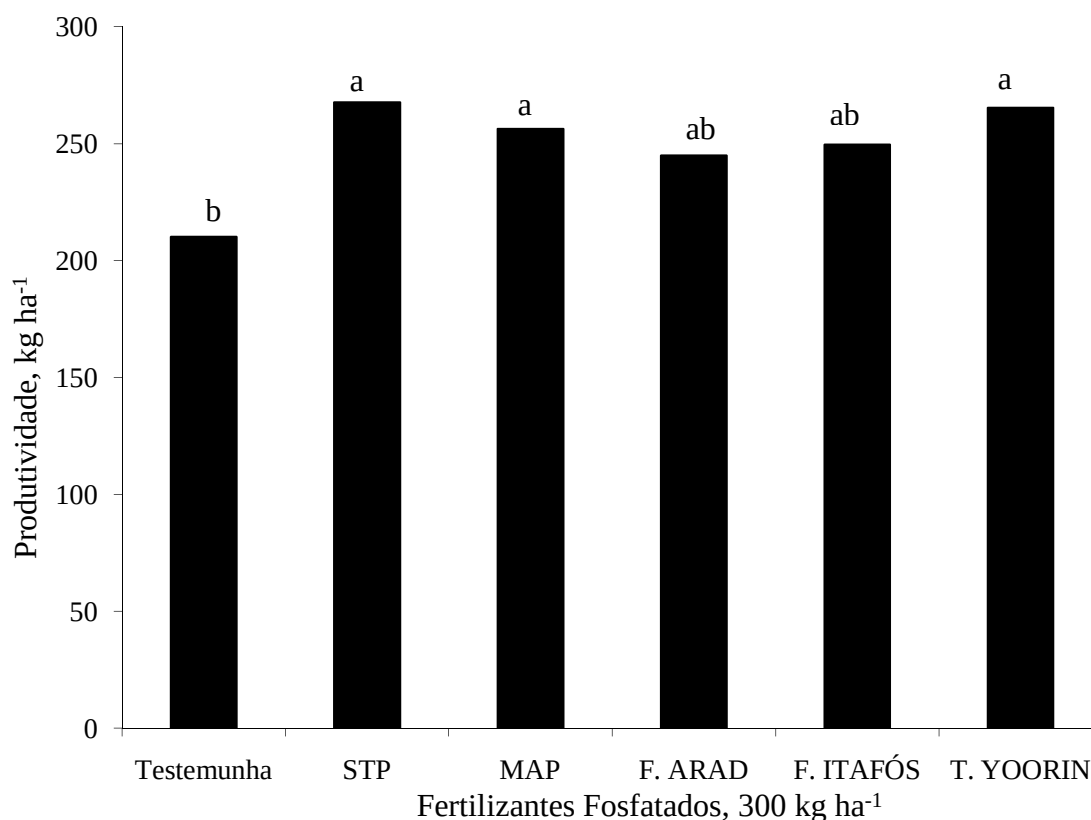


FIGURA 2. Soma das produtividades 2007, 2008 e 2009 em função da aplicação de 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar, variedade RB867515.

4.2- Índice de eficiência agronômica (IEA)

Utilizando a soma da produção de três cortes da cana-de-açúcar para calcular o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) quando esta cultura recebeu a aplicação dos fosfatos verificou-se que esse índice diminuiu na seguinte ordem: Superfosfato triplo (100 %) > Termofosfato yoorin (89%) > MAP (80%) > Fosfato Itafós (67%) > Fosfato Arad (60%) (Figura 3). O IEA das fontes indica que esses fertilizantes oferecem boas perspectivas de uso na cana-de-açúcar. Sendo assim, pode-se inferir que os fertilizantes fosfatados, testados neste experimento, que não são reativos, podem ser aproveitados na adubação da cana-de-açúcar. O que deve ser feito é avaliação do custo e benefício para utilização das mesmas.

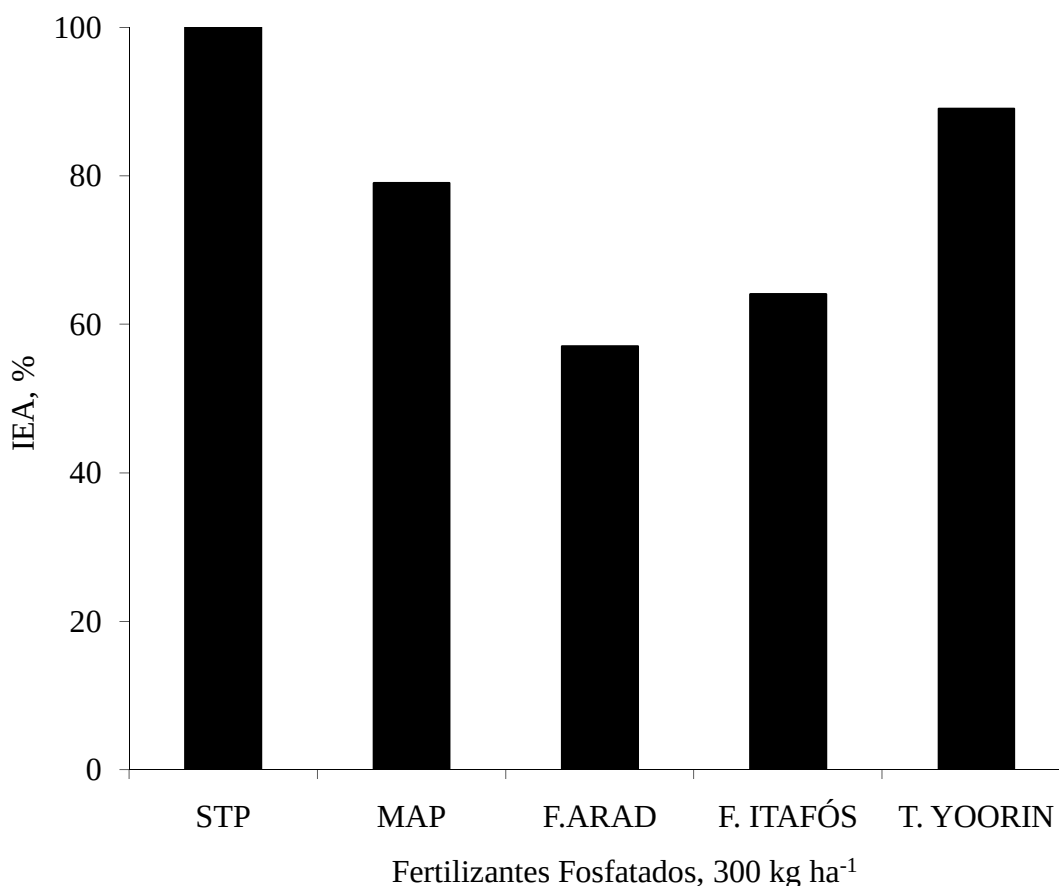


FIGURA 3. Índice de eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na soma da produção de três cortes consecutivos, em função da aplicação de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar RB867515.

Observando os valores gastos com a aplicação dos fertilizantes fosfatados na época da instalação do experimento e fixando o valor da tonelada de cana-de-açúcar em R\$ 32,00, percebe-se que a aplicação dos fertilizantes gerou uma receita que paga a aplicação dos mesmos e geram um lucro compensatório. Os tratamentos economicamente mais vantajosos foram: superfosfato triplo, termofosfato Yoorin, MAP, Fosfato natural de Itafós e fosfato reativo de Arad, respectivamente (Tabela 7). Na tabela 8, fez-se a estimativa de lucro mantendo a diferença de produtividade entre os fertilizantes fosfatados ajustando apenas os preços dos fertilizantes cotados em fevereiro de 2011 e o preço médio da tonelada de cana-de-açúcar comercializada nesse período (R\$ 43,00 por tonelada), nesse novo cenário, percebe-se que os tratamentos mais vantajosos foram: superfosfato triplo, MAP, termofosfato Yoorin e fosfato natural de Itafós. O fosfato reativo de Arad não apresenta valores nessa projeção porque o mesmo não é mais comercializado. Morelli et al. (1991), trabalhando com cana planta de 18 meses de idade e considerando o efeito do fósforo aplicado apenas no plantio observaram que o tratamento economicamente mais vantajoso foi com a associação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados a lanço (fosfatagem -termofosfato Yoorin) com 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ solúvel em água aplicados no sulco de plantio.

TABELA 7. Cálculo do lucro estimado após três safras em função da aplicação de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar, variedade RB867515.

Fertilizantes	A	B	C	D	E	F	G	H
	R\$ t ⁻¹	R\$ kg ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ t ⁻¹	---- t ha ⁻¹ ----		---- R\$ ha ⁻¹ ----	
Testemunha	--	--	--	--	210,0	--	--	--
STP	683,00	1,52	18,13	473,5	267,6	57,6	1843,2	1369,7
MAP	862,00	1,60	17,78	474,7	256,2	46,2	1478,4	981,7
F. Arad	375,00	1,14	18,91	359,8	244,9	34,9	1116,8	757,0
F. Itafós	218,00	0,91	20,00	292,5	249,5	39,5	1264,0	971,5
T. Yoorin	354,00	1,97	21,33	611,3	265,2	55,2	1766,4	1155,1

A – Preço do Fertilizante na Usina

B – Preço do P₂O₅ na Usina

C – Custo da aplicação do fertilizante Fosfatado

D – Preço de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicado

E – Produtividade (Soma de 3 cortes)

F – Ganho de produtividade em relação à testemunha

G – Ganho em reais pela cana-de-açúcar comercializada (R\$ 32,00 a tonelada)

H – Lucro

TABELA 8. Cálculo do lucro estimado após três safras em função da aplicação de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar, variedade RB867515.

Fertilizantes	A	B	C	D	E	F	G	H
	R\$ t ⁻¹	R\$ kg ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ t ⁻¹	---- t ha ⁻¹ ----		---- R\$ ha ⁻¹ ----	
Testemunha	---	---	---	---	210,0	---	---	---
STP	877,0	1,95	18,13	603,1	267,6	57,6	2476,8	1873,7
MAP	1107,0	2,05	17,78	632,8	256,2	46,2	1986,6	1353,8
F. Arad	---	---	---	---	---	---	---	---
F. Itafós	476,0	1,98	20,00	614,0	249,5	39,5	1698,5	1084,5
T. Yoorin	759,0	4,22	21,33	1287,3	265,2	55,2	2373,6	1086,3

A – Preço do Fertilizante na Usina

B – Preço do P₂O₅ na Usina

C – Custo da aplicação do fertilizante Fosfatado

D – Preço de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicado

E – Produtividade (Soma de 3 cortes)

F – Ganho de produtividade em relação à testemunha

G – Ganho em reais pela cana-de-açúcar comercializada (R\$ 43,00 a tonelada)

H – Lucro

Existe consenso de que os fosfatos mais solúveis proporcionam maior resposta no ano da aplicação, enquanto os fosfatos naturais têm menor eficiência inicial. Com o tempo, as diferenças de eficiência entre fontes tendem a diminuir (HOROWITZ; MEURER, 2003; SOUSA; LOBATO, 2003). Já alguns trabalhos mostraram que a cana-de-açúcar apresentou melhor reação com os fosfatos solúveis em relação aos insolúveis (MARINHO; ALBUQUERQUE, 1980; WEBER et al., 1993). As fontes de baixa solubilidade não conseguem manter níveis adequados de fósforo para as plantas, em virtude de sua baixa velocidade inicial de dissolução (MARINHO; ALBUQUERQUE, 1980). Por outro lado, fosfatos naturais de alta reatividade apresentam eficiência equivalente às fontes de alta solubilidade quando incorporados ao solo (CORRÊA et al., 2005) estando sua eficiência ligada ao grau de substituição isomórfica do fósforo por outros íons, na rede cristalina (HOROWITZ; MEURER, 2003). Em solos com alto efeito residual, este fertilizante poderá ter papel importante, promovendo a solubilidade gradual e eficiente do fósforo além do fornecimento de micronutrientes.

Quando analisado o IEA com base na produção de cada ano, percebe-se a evolução a eficiência agrônômica das fontes insolúveis. Verificou-se um expressivo

aumento do IEA dos fosfatos naturais, sendo que a eficiência do fosfato de Itafós passou de 43% para 79% do primeiro para o terceiro corte e do fosfato natural de Arad de 42% para 71% (Tabela 9).

TABELA 9. Índice de eficiência agrônômica das fontes de fósforo em função da aplicação de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no solo antes do plantio da cana-de-açúcar, variedade RB867515.

Fertilizantes	Índice de Eficiência Agrônômica (IEA)			Média
	1º corte	2ª Corte	3º Corte	
	----- % -----			
Superfosfato Triplo	100	100	100	100
Monoamônio fosfato	68	88	81	79
Fosfato reativo de Arad	42	57	71	57
Fosfato natural Itafós	43	70	79	64
Termofosfato Yoorin	109	71	88	89

Weber et al. (1993), estudando a eficiência de fosfatos solúveis, fosfatos naturais e fosfatos naturais parcialmente acidulados durante 5 anos, verificaram que as respostas obtidas foram proporcionais as quantidades de fósforo solúvel fornecida e que o fósforo liberado pelas fontes menos solúveis não restabeleceu o potencial de produção das culturas, sendo que os fosfatos naturais apresentaram eficiência agrônômica de no máximo 45%. Resultados mais consistentes foram obtidos em área onde o teor de fósforo nativo encontrava-se abaixo de 9 mg dm⁻³. No presente estudo, a aplicação de fosfato natural promoveu uma maior eficiência, 60%, quando comparado com os resultados observados por Weber et al (1993) isso pode ser explicado porque o teor nativo de fósforo do solo estava muito baixo, encontrando-se na faixa de 0,4 mg dm⁻³.

4.3 - Variáveis Tecnológicas

A aplicação dos fertilizantes fosfatados no solo de cultivo da cana-de-açúcar não influenciou nas variáveis tecnológicas Brix, fibra, pureza do caldo da cana e cana soca (2º corte). Verificou-se diferença apenas nos valores da Pol, tanto do caldo quanto da cana, sendo que para estas variáveis tecnológicas, os maiores valores foram observados na testemunha, a qual só diferiu estatisticamente do tratamento do termofosfato Yoorim,

para a Pol no caldo e Yoorin e Map, para a Pol cana (Tabela 10). O que concorda com Rossetto et al. (2002), que não observaram influência da adubação fosfatada nas características tecnológicas da cana-de-açúcar assim como Albuquerque e Marinho (1982), Sobral et al. (1989) e Pereira et al. (1995) que não observaram influência de níveis crescentes de fósforo na pol % de cana e Albuquerque et al. (1980), que estudando a competição entre fontes de fósforo solúvel e insolúvel em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Alagoas, observaram que a adubação fosfatada não proporcionou nenhuma resposta na produção de cana e açúcar ha⁻¹, pol% e pureza.

TABELA 10. Efeito imediato e residual da aplicação de fertilizantes fosfatados em solo de cultivo de cana-de-açúcar nas variáveis tecnológicas da cana soca (variedade RB86 7515, Faz. Porteirinha- Safra 2008).

Fertilizantes	Variáveis tecnológicas da cana soca – Safra 2008					
	Brix	Fibra	Pol caldo	Pol Cana	Pureza Cana	Pureza Caldo
	----- % -----					
Testemunha	14,6	12,6	11,1 a	9,2 a	72,4	76,1
Superfosfato Triplo	14,0	13,0	10,4 ab	8,5 ab	70,2	74,2
Monoamônio fosfato	14,0	13,1	10,2 ab	8,4 b	68,9	73,1
Fosfato reativo de Arad	14,2	12,5	10,4 ab	8,7 ab	70,0	73,5
Fosfato natural Itafós	14,2	13,2	10,3 ab	8,5 ab	68,7	72,7
Termofosfato Yoorin	13,9	12,9	10,0 b	8,3 b	68,7	72,0
C.V.	3,4	5,2	5,2	5,0	3,0	3,2
DMS	n.s	n.s	1,1	0,8	n.s	n.s

Médias na mesma coluna, seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância

A aplicação dos fertilizantes fosfatados no solo de cultivo não afetou o Brix, Pol do caldo, Pol cana, pureza do caldo e da cana em plantas de cana-de-açúcar no terceiro corte (ressoca) (Tabela 11). Pereira et al. (1995), verificando o efeito de níveis e do tipo de resíduo do fósforo em cana-de-açúcar, observaram que a Pol da cana não variou com níveis crescentes de fósforo aplicados no solo até 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo o rendimento de açúcar por hectare determinado pela melhoria na produtividade.

TABELA 11. Efeito imediato e residual da aplicação de fertilizantes fosfatados em solo de cultivo de cana-de-açúcar nas variáveis tecnológicas da cana soca (variedade RB86 7515, Faz. Porteirinha- Safra 2009).

Fertilizantes	Variáveis tecnológicas da cana soca – Safra 2009				
	Brix	Pol caldo	Pol Cana	Pureza Cana	Pureza Caldo
	----- % -----				
Testemunha	18,0	15,2	11,8	74,3	84,4
Superfosfato Triplo	17,6	15,1	11,7	73,4	86,0
Monoamônio fosfato	17,6	15,0	11,5	73,8	84,9
Fosfato reativo de Arad	17,3	14,7	11,5	73,6	84,9
Fosfato natural Itafós	17,8	15,2	11,2	74,2	85,2
Termofosfato Yoorin	17,6	14,8	11,4	73,5	84,3
C.V.	3,8	4,2	4,5	1,1	2,4
DMS	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

Médias na mesma coluna, seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Com base na variável tecnológica Pol % cana e na produtividade da cana-de-açúcar, calculou-se o total de açúcar produzido por hectare (TAH) na soca e ressoca da cana-de-açúcar. No segundo corte, a maior quantidade de açúcar foi observado nos tratamentos com Superfosfato triplo e Yoorin, os quais foram diferentes da testemunha, porém não diferiram dos demais tratamentos. Na ressoca, observou-se diferença significativa em relação à testemunha apenas no tratamento com superfosfato triplo, sendo que não houve diferença entre os fertilizantes (Tabela 12).

Lima Filho et al. (1982), estudando doses, fontes e sistema de aplicação de

fósforo em cana planta, encontraram respostas significativas para tonelada de cana, produção de açúcar e pol% de cana, atribuídos ao baixo teor do elemento no solo. Cantarella et al. (2002), utilizando misturas em diferentes proporções de superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Daoui, não observaram as diferentes proporções, na produção de colmos ou de açúcar, concluindo que o fosfato natural de Daoui foi uma fonte eficiente para o fornecimento de fósforo para a cultura da cana-de-açúcar.

TABELA 12. Total de açúcar por hectare (TAH) na cana soca – 2º e 3º corte, pela aplicação de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio da cana-de-açúcar, variedade RB86 7515 Faz. Porteirinha - Safra 2008 e 2009.

Fertilizantes	Total de açúcar por hectare (TAH)	
	2ª corte	3º corte
	----- t ha ⁻¹ -----	
Testemunha	5,8 b	9,1 b
Superfosfato Triplo	6,8 a	12,2 a
Monoamônio fosfato	6,5 ab	11,3 ab
Fosfato reativo de Arad	6,4 ab	10,9 ab
Fosfato natural Itafós	6,4 ab	11,0 ab
Termofosfato Yoorin	6,7 a	11,2 ab
C.V.	7,3	14,9
DMS	0,9	2,9

Médias na mesma coluna, seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância

5 CONCLUSÕES

A fosfatagem não influenciou a produtividade da cana planta, porém aumentou a produtividade da cana soca bem como a quantidade de açúcar produzida por hectare se mostrando uma prática rentável.

A altura das plantas (cana planta) aumentou com adubação fosfatada quando se utilizou termofosfato magnesiano e superfosfato triplo.

De uma forma geral, o efeito residual dos fosfatos insolúveis aumentou no decorrer dos anos. O Índice de Eficiência Agronômica (IEA) dos fosfatos diminuiu na seguinte ordem: Superfosfato triplo (100 %) > Termofosfato (89%) > MAP (80%) > Fosfato Itafós (67%) > Fosfato Arad (60%).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F. A comparison of the effects of monocalcium phosphate and diammonium phosphate on phosphorus and calcium availabilities. **Soil Sci. Soc. Am. J**; Madison, v.46, n.4, p. 769-771, 1982.

ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L. Adubação na Região Norte-Nordeste. In: ORLANDO FILHO, I. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983, p. 265-286.

ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L. Efeitos do parcelamento e épocas de adubação da cana-de-açúcar em Alagoas. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, vol 100, n. 2, p 17-23, 1982.

ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L.; ARAÚJO FILHO, J.T. Competição de fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL. 1979. **Anais...** Maceió-AL: STAB, 1980. v.2, p. 319-322.

ALCARDE, J.C; PROCHNOW, L.I; Metodologias de extração química para avaliação da eficiência de fertilizantes fosfatados. 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. 589-603.

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

ALFONSI, R. R.; PEDRO, J. M. J.; BRUNIN, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. 1. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p.42-55.

BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R. **Análise química de plantas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1978. 31p.

BIASIOLI, G.M. **Influência do pH e da fração iônica na liberação de fósforo de compostos do tipo Fe-K-P presentes em superfosfatos**. Piracicaba: ESALQ, 2003.76p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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

CAMPELLO, M.R; NOVAIS, R.F; FERNANDEZ, R.I.E; FONTES, M.P.F; BARROS, N.F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil para lábil em solos com diferentes características. **Revista brasileira de ciências do solo**, Viçosa, v. 18, n.2, p. 157-165, 1994.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Misturas em diferentes proporções de fosfato natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TECNICOS ACUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Acucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2002. p. 218-224.

CARVALHO, A. A. de; FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P. de; KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 61-67, 1995.

CESAR, M.A.A; DELGADO, A.A; CAMARGO, A.P; BISSOLI, B.M.A; SILVA, F.C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana planta), visando o processo industrial. **Stab**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.5, n.5/6, p. 32-38, 1987.

CESNIK, R; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 307p.

CLEMENTS, H.F. **Sugarcane crop logging and crop control: principles and practice**. Hawaii: The University of Hawaii Press. 1980. 520p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar – 3º estimativa – Janeiro de 2011**. Disponível em: <(http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011..pdf)>. Acesso em: 13 fev. 2011.

COPERSUCAR. **Amostragem e análise da cana-de-açúcar**. São Paulo, 1980. 37p.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUZA, S. K. S.; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. **Scientia Agrícola**, v.62, n.2, p.159-164, 2005.

DEMATTÊ, J. L. I. **Recuperação de manutenção da fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. 24 p. (Informações Agrônômicas – Boletim Informativo, 111).

DIAS, F.L.F; MAZZA, J.A; MATSUOKA, S; PERECIN, D; MAULE, R.F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.627-634, 1999.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-Açúcar**. Instituto Agronômico. Campinas. 2008.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1999. s.n.p.

ESPIRONELO, A. Contribuição do instituto Agronômico de Campinas (IAC) para a nutrição e adubação da cana-de-açúcar. Fósforo em cana planta. **Stab**. Açúcar, Alcool e Subprodutos, v.8, n.2, p. 14-21, 1989.

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

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar**, 2. ed. Piracicaba: STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 2003. 240p.

FERREIRA, D. A.; PEREIRA, H. S.; CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, M. H. S.; AGUIAR, C. T. Influencia do pH na adsorcao do fosforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 31., 2007, Recife. **Anais...** Vicosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2007. p. 1-4.

FERREIRA, D.F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, C. P.; MARINHO, M.L; BARBOSA, G.V.S. Efeitos de doses de fósforo sobre a produção da cana planta e socas em solos da mata norte de Pernambuco e litoral da Paraíba. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 6, 1996, Maceió. **Anais...** Maceió-AL: STAB, 1996. p.469-476.

FIGUEIREDO FILHO, C. P. Avaliação da adubação fosfatada da cana-de-açúcar com hiperfosfato natural reativo. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8, 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p.259-263.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Disponível em: <<http://www.agrafnp.com.br>>. Acesso em: 27 de agosto de 2009.

GOEDERT, W. J. **Solos do Cerrado: tecnologia e estratégia de manejo**. Brasília: EMBRAPA – Centro de pesquisas agropecuárias do cerrado, 1985. 422p.

GOEDERT, W. J; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de

cerrado. **Revista brasileira de ciências do solo**, Campinas, v.8, n.1, p. 97-102, 1984.

HAAG, H.P; DECHEN, A.R; CARMELLO, Q.A.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In PARANHOS, S.B. (Coord). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. V.1, Campinas-SP: Fundação Cargill, 1987, p. 88-162.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p.41-47, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. 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. 665-687.

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

KORNDÖRFER, G. H. **Fertilizantes fosfatos e fluídos na cana-de-açúcar**. 1990. 91 f. Tese (doutorado) - ESALQ/USP - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo, Piracicaba- SP, 1990.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: Fósforo na agricultura brasileira, **Anais...**, Piracicaba: POTAFOS, 2004, p.291-303.

KORNDÖRFER, G. H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 10, n. 3, p. 26-31, 1992.

KORNDÖRFER, G. H; VIEIRA, G.G, MARTINS, J; MATHIESEN, L.A. Resposta da cana planta a diferentes fontes de fósforo. In: **Boletim Técnico Copersucar**, n.45, 1989, p. 31-37.

KORNDORFER, G.H.; ALCARDE, J.C. Acumulo 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.

KORNDORFER, G.H.; MELO, S.P. de. 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

LARSEN, S. Soil Phosphorus. In: Normam, A.G. **Advances in agronomy**. V.19, New York: Academic Press, 1967, p. 151-206.

LIMA FILHO, S.A.; ZAMBELLO JÚNIOR,E; ORLANDO FILHO, J. Doses e fonts de fósforo em cana planta no estado de São Paulo. **Saccharum**, São Paulo, v.5, n.21,

p.37-43, 1982.

LONERAGAN, J.F; GROVE, T.S; ROBSON, A.D; SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. **Soil Science Soc. Am. J.**, Madison, v.43, n.5, p.966-972, 1979.

LOPES, A. S (Tradutor). **Manual Internacional de fertilidade do solo**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

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.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2º edição. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319P.

MALAVOLTA.E. **Elementos de nutrição mineral de planta**. São Paulo: CERES, 1980. 251p.

MALAVOLTA.E. **Manual de química agrícola**, São Paulo: CERES, 1967. 606p.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Resposta da cana-de-açúcar a níveis de P e correlação com análise foliar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1 , 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB,1980. v.2, p.328-333.

MARINHO, M.L. **Aspectos agronômicos e econômicos da adubação da cana em Alagoas**. Rio Largo: EECAA, 1974.60p.

MARINHO, M.L; CAVALCANTI, G.A; AMORIM, A.L.C. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento industrial dos canaviais de Alagoas. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 15, 1976. **Anais...** Campinas: SBCS, 1976. p. 195-201.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA Jr., G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, v.58, n.2, p.295-301, 2001.

MEYER, J.H. The role of phosphorus in the production of sugarcane in South África. **Phosphorus in Agriculture**, n. 78, p.23-32, 1980.

MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; BAPTISTELLE, J.R.; DEMATÊ, J.L.I. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso

de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.1, p.57-61. 1991.

MOURA FILHO, G.; ALMEIDA, A. C. S.; SILVA, L. C.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I. ; BARBOSA, G. V. S. Crescimento e absorcao de nutrientes em quatro variedades de cana-de-acucar. In: SEMINARIO ALAGOANO SOBRE VARIEDADES DE CANA-DE-ACUCAR, 7., 2006. Maceio. **Anais...** Maceio: Sociedade dos Tecnicos Acucareiros e Alcooleiros do Brasil, STAB Leste, 2006. CD-ROM.

NOVAIS FILHO, G; SMITH, T.J. **Fósforo em solo e plantas em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA, E.C.A. **Dinâmica dos nutrientes em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S; OLIVEIRA, E.A.M (eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 133-146.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Influência da adubação NPK nas finalidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB41-76. **Brasil açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n.9, p.37-44, 1980.

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

PAULINO, A.F; MEDINA, C.C; AZEVEDO, M.C.B; SILVEIRA, K.R.P; TREVISAN, A.A; MURATA, I.M. Escarificação de um latossolo vermelho na pós colheita da soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.911-917, 2004.

PEREIRA, J.R.; FARIA, C.M.B.; MORGADO, L.B. Efeito de níveis e do resíduo de fósforo sobre a produtividade da cana-de-açúcar em Vertissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30,n.1, p 43-48,1995.

PROCHNOW, L.I; ALCARDE, J.C; CHIEN, S.H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. 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. 605-663.

QUISPE, J.F.S. **Eficiência agrônômica de fosfatos com solubilidade variável em água em solos distintos quanto a capacidade de fixação de fósforo**. 2004, 57f. Dissertação (Mestrado). ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP, 2004.

RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A; FURLAN, A.M.A (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas, Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. p.237-239 (Boletim técnico nº 100).

REIN, A. T. Uso de eficiente dos fertilizantes fosfatados e sua solubilidade. In: SIMPOSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, ENCONTRO NACIONAL DA ROCHA FOSFATICA, 4., 1994, Sao Paulo. **Anais...** Sao Paulo: IBRAFOS, 1994. p. 101-125.

RIBEIRO, M.R; HALSTEAD, E.D; DE JONG, E. Rendimento da cana-de-açúcar e características das terras da microrregião da Mata Norte de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.8, n.2, p.209-213, 1984.

ROCHE, R; GRIERE, L; BARBE, S.A; CALBA, H; FALLAVIER, R. **O fósforo nos solos tropicais**: apreciação dos níveis de carência e das necessidades de fósforo. Paris: Institut Mondial de Phosphate, 1980. 48p.

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

SILVEIRA, PM; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas de água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.14, n.1, p.63-67, 1990.

SIMÕES NETO, D. E.; DIAS, S. H. L.; STANFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. Avaliação de Biofertilizantes fosfatados e potássicos, com *Acidithiobacillus* em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em condições de cana-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 30., 2005. Recife. **Anais...** Viçosa: SIMOES NETO, D. E.; MELO, L. J. O. T. Lançamento de novas variedades RB de cana-de-açúcar. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 28p.

SOBRAL, A.F.; NASCIMENTO, H.P.; GUIMARÃES, V.O.S. Efeitos de sistema de fertilização em solos arenosos cultivados com cana-de-açúcar na Região Nordeste. **STAB**. Açúcar, Alcool e Subprodutos, v. 8, n.2, p. 22-26, 1989.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 102, p. 1-16, jun. 2003. Encarte técnico.

SOUSA, D.M.G de; LOBATO,E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: 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. 157-200.

STAUFFER, M.D; SULEWSKI, G. Fósforo: essencial a vida. 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. 1-12.

UNIAO AGROINDUSTRIA CANAVIEIRA DE SAO PAULO. **UNICA**. Estatísticas. São Paulo: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, 2006. Disponível em <<http://www.portalunica.com.br/acao/cana.jsp>>. Acesso: em 12 jul. 2010.

VILLANI, E.M.A.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONTES, L.E.F.; NEVES, J.C.L. Difusão de fósforo em solos com diferentes texturas e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.17, p.343-347, 1993.

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

WEBER, H.; BOLSANELLO, J.; AZEREDO, D. F. Doses e fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 5, 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993. p.70-75.

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

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. **Adubação na cana-de-açúcar na região centro sul do Brasil**. Boletim Técnico PLANALSUCAR. Piracicaba, v. 3, n. 3, p. 1-26, 1981.