

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA PRESENÇA E
AUSÊNCIA DE COMPOSTO ORGÂNICO NO ESTADO
NUTRICIONAL E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Leandro Rosatto Moda
Engenheiro Agrônomo

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA PRESENÇA E
AUSÊNCIA DE COMPOSTO ORGÂNICO NO ESTADO
NUTRICIONAL E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Leandro Rosatto Moda

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
a obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Ciência do Solo)**

2015

M689f Moda, Leandro Rosatto
Fontes e doses de fósforo na presença e ausência de composto orgânico no estado nutricional e na produtividade da cana-de-açúcar / Leandro Rosatto Moda. -- Jaboticabal, 2015
ix, 138 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Renato de Mello Prado
Banca examinadora: Gustavo Caione, Rilner Alves Flores, Jairo Osvaldo Cazetta, William Natale
Bibliografia

1. Argissolo. 2. Fosfato de Araxá. 3. Fosfato de Gafsa. 4. Latossolo. 5. Superfosfato triplo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.811:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

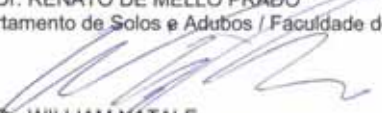
TÍTULO: FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COMPOSTO ORGÂNICO NO ESTADO NUTRICIONAL E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: LEANDRO ROSATTO MODA

ORIENTADOR: Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

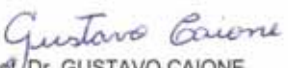
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. WILLIAM NATALE
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JAIR O OSVALDO CAZETTA
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. RILNER ALVES FLORES
Universidade Federal de Goiás / Goiânia/GO


Prof. Dr. GUSTAVO CAIONE
Universidade do Estado de Mato Grosso / Alta Floresta/MT

Data da realização: 30 de janeiro de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Leandro Rosatto Moda, nascido no município de Ribeirão Preto – SP, Brasil 23 de junho de 1984, filho de Clóvis Moda e Maria Lavínia Rosatto Moda, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal em março de 2002 e concluiu em dezembro de 2006. Em 2007 iniciou o curso de Pós-Graduação em nível de Mestrado, obtendo o título de Mestre em Agronomia, com especialidade em “Ciência do Solo”, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal no ano de 2009. Ingressou no mês de abril de 2009 como trainee na Empresa Fertilizantes Heringer onde atuou como Supervisor Técnico realizando recomendações de adubação para cerca de 160 representantes comerciais das regiões das cidades de Bauru, Araçatuba, Marília, Presidente Prudente e Avaré. Atuou na área de desenvolvimento da área de marketing da empresa, participando de congressos, simpósios, dias de campo e palestras junto a Cooperativas (Coopemar/Marília, Canda/Adamantina, Coplacana/Piracicaba), Universidades (Unesp Botucatu/Jaboticabal, USP Esalq) e Usinas (Cosan/Ocaçu, Diana/Avanhandava, Clealco/Clementina, Alto Alegre/Presidente Prudente). Efetuou treinamentos técnicos junto a casas agropecuárias, vendedores autônomos e clientes das regiões mencionadas. Em março de 2012 ingressou no Doutorado em Agronomia com especialidade em “Ciência do Solo”. Neste período participou de vários projetos de pesquisa apoiados por agências de fomento como a FAPESP, na área de Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. Membro do Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas da UNESP - GENPLANT. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Participou do programa de internacionalização dos programas de Pós-Graduação em Cuba, onde pode desenvolver projetos em parceria com a Universidad de Cienfuegos culminando em publicações na área de formação. Coorientou alunos de graduação em Agronomia da UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Participou de bancas examinadoras de Trabalhos de Conclusão de Curso de Agronomia e realizou estágio de docência na disciplina de “Nutrição de Plantas” e “Fertilidade do Solo”. Até o momento é autor/coautor de 11 artigos científicos e 51 resumos. Foi orientado pelos Professores Manoel Evaristo Ferreira (Graduação), Itamar Andrioli (Mestrado) e Renato de Mello Prado (Doutorado).

O conhecimento torna a alma jovem e diminui a amargura da velhice. Colhe, pois, a sabedoria. Armazena suavidade para o amanhã (Leonardo da Vinci).

Dedico e Ofereço

Aos meus queridos pais, Clóvis e Lavinia, pelo exemplo de dedicação, paciência, amor e carinho. Por me apresentarem a importância dos valores da família e o caminho da honestidade.

Aos meus adorados irmãos Livia e Lucas, pelo exemplo de luta, força e união, por toda amizade, incentivo e apoio que deles recebo desde o início de minha jornada.

A minha namorada Vanessa, pelo seu amor, carinho, parceria e dedicação durante esta fase de minha vida.

AGRADECIMENTOS

A minha família, meus pais Clóvis Moda e Maria Lavínia Rosatto Moda, meus irmãos Livia Maria Rosatto Moda e Lucas Alexandre Rosatto Moda, a minha cunhada Mayara Bitar Silva Moda e minha namorada Vanessa Sayuri Sato, que sempre me incentivaram e apoiaram e muito contribuíram para que eu alcançasse este objetivo. Agradeço imensamente pelo amor, carinho incentivo e apoio incondicional a mim dedicado. Isso me fortalece e me responsabiliza a buscar cada dia o meu objetivo, certo de que em vocês terei sempre meu porto seguro. Amo vocês.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade concedida para a realização do curso de Doutorado em Agronomia, com especialidade em Ciência do Solo.

Ao meu Orientador, Professor Dr. Renato de Mello Prado, pela confiança em minha pessoa, ensinamentos, dedicação e exemplo profissional. Sou e serei muito grato por tudo que fez por mim durante este período de orientação.

Aos meus ex-orientadores, Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira e Prof. Dr. Itamar Andrioli, pelos ensinamentos, conselhos, confiança e a grande amizade conquistada.

Aos membros da banca de qualificação e defesa de doutorado: Prof^a Dr^a Mara Cristina Pessoa da Cruz, Prof^a Dr^a Anelisa de Aquino Vidal, Prof Dr Alejandro Dias Medina, Prof Dr William Natale, Prof Dr Jairo Osvaldo Cazetta, Prof Dr Rilner Alves Flores e Prof Dr Gustavo Caione, por todas as sugestões preciosas e fundamentais para a elaboração deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro à pesquisa.

A todos os professores dos Programas de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal e Ciência do Solo) da UNESP de Jaboticabal.

A todos os professores e alunos da Universidad de Cienfuegos em Cuba, onde pude aprender lições extremamente importantes, em especial aos que tivemos maior convívio durante a estadia neste país: Prof Dr Leónides Castellanos Gonzáles, Maikel Jimenez, Mailiu, Yoandres, Idia. Sem esquecer dos amigos de todas as nacionalidades que fiz: Victor, Laura, Juana, Fernando, Yanelys, Roman, Yessenia, Indira, Yoelsy, Edson, Panda, César que me ajudaram a superar a imensa saudade e todas as dificuldades que encontrei na ilha.

A Usina Colombo S/A e todos seus funcionários, em especial aos Engenheiros Agrônomos Cesar Thiago Paulino, Eder Luciano de Lima e Eloy Colombo da Silva, por toda infraestrutura, logística e mão-de-obra fornecida gentilmente, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação e bibliotecários, pela dedicação e atenção concedida.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Adubos, em especial aos que convivemos com maior frequência durante este período: Cláudia, Ademir (Cherinho), Célia, Mauro, Dejair, Gomes, Luiz e Maria Inês.

A todos os colegas do GENPLANT, em especial aos que tivemos maior convivência na condução dos experimentos: Rilner Alves Flores, Cid Naudi Silva Campos, Gustavo Caione, Gabriel Barbosa da Silva Júnior, Luiz Cláudio Nascimento dos Santos, Gilmara Pereira da Silva, Sylvia Letícia.

A minha namorada Vanessa pelo amor e carinho, seus pais José Takashi e Tereza e seus irmãos Rafael e Leonardo, por sempre me acolherem em sua casa durante a minha estadia em Jaboticabal, por serem minha segunda família onde aprendi lições de vida fundamentais que com certeza servirão de exemplo.

Aos amigos da República Kambuká: Ronaldo (Bicudo), Rilner, Carlos Leandro (Pexe), Bernardo (Furas), Gabriel (Vô, Véia), Matheus (Monastério), pelo convívio e diversas empreitadas que resultaram em histórias que teremos para contar.

Aos “parças” Elaine Costa, Clarissa Araújo, Gabriela Titotto, Leandro Alex, Livia Beraldo, Betão, Filipe carioca, Shyrlei Viana por todos os momentos de descontração e amizade que foram e sempre serão muito importantes em minha vida.

Aos meus tios, tias, primos e primas de Ribeirão Preto, São Paulo, Santos pelo apoio e carinho.

A todos que porventura esqueci de mencionar neste texto. Muito obrigado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO GERAL.....	3
3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
4 REVISÃO DE LITERATURA	4
4.1 Aspectos básicos da cultura da cana-de-açúcar	4
4.1.1 Classificação botânica.....	4
4.1.2 Clima, temperatura e precipitação.....	5
4.1.3 Variedade	7
4.2 Importância sócio-econômica da cana-de-açúcar	8
4.3 Fósforo no solo.....	10
4.3.1 Importância do fósforo	10
4.3.2 Formas de fósforo no solo	11
4.4 Fósforo na cultura da cana-de-açúcar	14
4.5 Torta de filtro.....	17
4.6 Respostas da cana-de-açúcar à aplicação de fósforo.....	18
4.6.1 Efeitos do fósforo no crescimento da cana-de-açúcar.....	18
4.6.2 Efeitos da aplicação de fósforo na fisiologia da cana-de-açúcar	19
4.6.3 A importância da atividade da fosfatase ácida em plantas	20
4.6.4 Fósforo <i>versus</i> Produção.....	22
5 MATERIAL E MÉTODOS	25
5.1 Localização e clima	25
5.2 Solo	28
5.3 Variedade.....	29
5.4 Instalação e condução do experimento.....	30
5.5 Delineamento experimental	32
5.6 Parâmetros avaliados.....	33
5.6.1 Crescimento	33
5.6.2 Diagnose foliar	33
5.6.3 Avaliações de solo	34
5.6.4 Avaliação nutricional alternativa (bioquímica)	34
5.6.5 Produção de colmos e palhada e acúmulo de P	35
5.6.6 Análise tecnológica.....	36

5.7 Análises estatísticas.....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 Safra 2012/2013 (cana-planta).....	37
6.1.1 Crescimento/Desenvolvimento	37
6.1.2 Efeitos nos atributos químicos do solo	44
6.1.3 Estado nutricional da cana-de-açúcar aos 120 DAP	51
6.1.4 Estado nutricional da cana-de-açúcar aos 240 DAP	63
6.1.5 Atividade da fosfatase ácida foliar, acúmulo de P e produção de palhada e colmos	73
6.1.6 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.....	84
6.2 Safra 2013/2014 (cana-soca)	90
6.2.1 Efeitos nos atributos químicos do solo	90
6.2.2 Estado nutricional da cana-de-açúcar aos 120 DAR.....	96
6.2.3 Estado nutricional da cana-de-açúcar aos 240 DAR.....	101
6.2.4 Componentes e produção de colmos e palhada	107
6.2.5 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.....	119
7 CONCLUSÕES	121
8 REFERÊNCIAS.....	122
9 APÊNDICE – FOTOS DOS EXPERIMENTOS	138

FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COMPOSTO ORGÂNICO NO ESTADO NUTRICIONAL E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO - A aplicação de torta de filtro associada com fertilizante fosfatado pode prevenir a adsorção de fósforo por colóides do solo. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito da aplicação de doses de fósforo em diferentes fontes, na presença e na ausência da torta de filtro sobre o crescimento, estado nutricional e a produtividade da cana-planta e da primeira soqueira cultivadas em diferentes solos do Estado de São Paulo, colhida sem despalha a fogo. Dois experimentos foram realizados na safra 2012/2013 e 2013/2014 em Argissolo e Latossolo no estado de São Paulo, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x4x2, com três fontes de fósforo (fosfato de Araxá, fosfato de Gafsa e superfosfato triplo), quatro doses de P [zero (controle); 90; 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅], na presença e ausência de 7,5 t ha⁻¹ de torta de filtro (base seca), com três repetições. Os parâmetros avaliados foram a disponibilidade de P no solo (P-resina, P-remanescente), o estado nutricional de P nas folhas (aos 120 e 240 dias após o plantio e através de método alternativo determinando a atividade da fosfatase ácida foliar), o rendimento de palha e colmos, o acúmulo de fósforo pelas plantas e a qualidade tecnológica do caldo. A aplicação de doses de fósforo aumentou o teor do nutriente no solo, quando associado à torta de filtro melhorou o crescimento da cana, e a nutrição fosfatada, elevando a produtividade de colmos. A diagnose foliar mostrou-se eficiente nas duas épocas de amostragem, no entanto, a atividade da fosfatase não se mostrou importante para predispor o estado nutricional em P. Os efeitos dos tratamentos foram semelhantes nos diferentes solos, entretanto, a produtividade do Argissolo foi maior que a do Latossolo. No Argissolo o fosfato de Gafsa promoveu maior incremento na produção de colmos em cana-planta comparado com as demais fontes, atingindo 214 t ha⁻¹ com 209 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o superfosfato triplo promoveu a produção de 190 t ha⁻¹ com uso da maior dose (360 kg ha⁻¹ de P₂O₅), independentemente da presença de torta de filtro. No Latossolo a produção de colmos aumentou 19,6% com a aplicação de P-fertilizante (360 kg ha⁻¹ de P₂O₅) associado com torta de filtro atingindo produção de colmos igual a 188,2 t ha⁻¹. A associação de P-fertilizante e torta de filtro aumentou a produção de cana-de-açúcar na primeira soqueira, independentemente da fonte de P no Argissolo. No Latossolo o maior acúmulo de P nas diferentes partes da planta pelo Fosfato de Araxá comprova que a aplicação de uma fonte não convencional é promissora para os ciclos seguintes no sistema de colheita sem despalha a fogo, em Latossolo.

Palavras-chave: Argissolo, fosfato de Araxá, fosfato de Gafsa, Latossolo, *Saccharum* spp, superfosfato triplo

SOURCES AND RATES OF PHOSPHORUS IN THE PRESENCE AND ABSENCE OF ORGANIC COMPOUND IN THE NUTRITIONAL STATUS AND PRODUCTIVITY OF SUGARCANE

ABSTRACT - The filter cake application associated with phosphate fertilizer can prevent the adsorption of phosphorus in soil colloids. The objective of this research was to evaluate the effect of application of rates of phosphorus on different sources, in the presence and absence of filter cake on growth, nutritional status and productivity of cane plant and first ratoon, grown in different soils in State of São Paulo, harvested without straw removal by burning. Two experiments were conducted in 2012/2013 and 2013/2014 cropping seasons in Kandiadalf and Haplustox soils in São Paulo, Brazil. The experimental design was a randomized block in a 3x4x2 factorial arrangement with three sources of phosphorus (Phosphate of Araxá, Gafsa phosphate and triple superphosphate) and four rates of P [zero (control); 90; 180 and 360 kg ha⁻¹ of P₂O₅] in the presence and absence of 7.5 t ha⁻¹ of filter cake (dry basis), with three replicates. Were evaluated the availability of soil P (P-resina, P-remanescente), the nutritional status of P in the leaves (at 120 and 240 days after planting and through alternative method determining the activity of leaf acid phosphatase) the yield of straw and stalks, phosphorus accumulation by plants and the technological quality of the sugarcane juice. The application of phosphorus levels increased the nutrient content in the soil, when associated with the filter cake improved the growth of sugarcane, and the phosphorus nutrition, increasing sugarcane yield. Leaf analysis was efficient in the two sampling periods, however, the phosphatase activity was not important to predispose the nutritional status of P. The effects of the treatments were similar in the different soils, however, in Kandiadalf the yield was higher than in Haplustox soil. In Kandiadalf the Gafsa phosphate promoted increase in stalk production in first year compared to other sources, reaching 214 t ha⁻¹ with 209 kg ha⁻¹ P₂O₅, triple superphosphate promoted the production of 190 t ha⁻¹ using the highest dose (360 kg ha⁻¹ P₂O₅), regardless of the presence of filter cake. In Haplustox stalk production increased 19.6% with the application of P-fertilizer (360 kg ha⁻¹ P₂O₅) associated with filter cake reaching production of 188.2 t ha⁻¹. The association of P-fertilizer and filter cake increased the production of stalks in the first ratoon, regardless of the P source in Kandiadalf. In Haplustox the higher accumulation of P in different parts of the plant by phosphate of Araxá proves that the application of a non-conventional source is promising for the following cycles in the system without straw removal by burning, in Oxisol.

Keywords: Kandiadalf, phosphate of Araxá, Gafsa phosphate, Haplustox, *Saccharum* spp, triple superphosphate

1 INTRODUÇÃO

O incremento na produção de cana-de-açúcar consiste em desafio para as usinas produtoras de açúcar e etanol. As áreas de expansão dos canaviais, assim como a renovação dos mesmos, em regiões de solos com baixa fertilidade natural vêm aumentando a necessidade de inserir no sistema produtivo soluções para atender a exigência nutricional da cultura, dentre estas, destaca-se o emprego de fertilizantes minerais solúveis que visam o fornecimento de nutrientes às plantas.

Dentre os nutrientes de planta, o fósforo (P) apresenta destaque neste cenário de expansão/renovação da cana. É um nutriente extremamente limitante ao desenvolvimento da cultura, apresentando particularidades no sistema solo-planta, existindo inúmeros trabalhos em solos do Brasil e do mundo. Aliado a seu papel no metabolismo das plantas, o fato de ser um elemento com reservas finitas torna seu emprego e utilização extremamente importante na agricultura. Existem no mercado de fertilizantes diversas fontes de P, com diferentes propriedades físicas e químicas, que são largamente empregadas com o objetivo de reduzir suas perdas e aumentar a eficiência de utilização, elevando a lucratividade e o ganho dos produtores.

Entretanto, o emprego isolado do fertilizante fosfatado somado à forte interação do P com os minerais constituintes da fração sólida do solo em contato direto, pode levar à redução da eficiência agrônômica destes fertilizantes, tornando cada vez mais frequente a sua aplicação em altas doses. Neste contexto, a utilização de um carregador orgânico, como a torta de filtro, juntamente com o fertilizante fosfatado, poderia reduzir a adsorção do elemento nas frações minerais do solo, protegendo o P do fertilizante e aumentando a massa microbiana do solo.

A torta de filtro é proveniente do processo de clarificação do açúcar, sendo um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, gerando, para cada tonelada de cana moída, 30 a 40 kg de torta. Dessa forma, com o aumento da área cultivada com cana-de-açúcar, maiores volumes de torta são gerados, posteriormente, podendo ser reutilizados para a adubação da cultura, reduzindo a contaminação ambiental e os custos com fertilizantes químicos.

O uso agrícola da torta de filtro promove aumento na disponibilidade de P e de Ca no solo, assim como, de carbono orgânico. Tendo também em sua composição altos teores de nitrogênio, teores consideráveis de potássio, magnésio e micronutrientes.

Frente a isso, a torta é utilizada nos canaviais do Brasil desde a década de 1970, entretanto, intensificou-se a partir do ano 2000, devido à elevação dos custos dos fertilizantes e ao fator ambiental, que exigem sistemas de produção sustentável. Atualmente, o aspecto ambiental é uma das mais significativas motivações da produção de etanol, pois o mundo quer comprar etanol, desde que sejam agregados valores sociais e ambientais na produção.

Neste contexto, o uso de tecnologias que propõem usar resíduos, como a torta de filtro, enriquecida com fontes de P, como fosfatos naturais, poderá aumentar a eficiência agrônômica da adubação, preservando fontes de P não renováveis, ampliando os ganhos ambientais. De forma geral, existem informações sobre os benefícios da torta de filtro na nutrição de cana-de-açúcar, porém, poucos trabalhos avaliam a eficiência deste composto associado ao fertilizante fosfatado em cana-planta e, em primeira soqueira, no sistema de colheita mecanizado sem uso da despalha à fogo.

Diante disso, novos estudos sobre a nutrição fosfatada da cana-de-açúcar assumem grande importância, especialmente avaliando a interação entre torta de filtro, doses e fontes de P, em solos com diferentes capacidades de adsorção de P.

Frente ao exposto, as hipóteses desta pesquisa são que: (i) a eficiência agrônômica das fontes de fósforo é maior quando associada à adição de composto orgânico, comparado à sua aplicação isolada, em função dos compostos orgânicos no solo diminuírem a adsorção de P e, aumentarem sua disponibilidade no solo e a absorção pela planta; (ii) a eficiência agrônômica do uso combinado de fontes e doses de fertilizantes fosfatados, na presença da torta, é afetada pelo tipo de solo estudado.

2 OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem por objetivo avaliar a resposta da cana-planta e da primeira soqueira, cultivadas em diferentes solos do Estado de São Paulo, colhidas sem despalha a fogo, em função da aplicação de doses de fósforo com diferentes fontes, na presença e na ausência da torta de filtro.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar a correlação entre disponibilidade de P no solo a partir dos métodos resina e P remanescente entre a produção de colmos de cana-de-açúcar.

Estudar a diagnose foliar de acordo com dois critérios de amostragem de folhas.

Averiguar a viabilidade do uso da diagnose nutricional alternativa em P através da atividade da fosfatase ácida foliar em cana-planta.

Avaliar o efeito dos tratamentos no acúmulo de P e na produção de palhada e de colmos, assim como na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Estudar o efeito da adição de torta de filtro a fertilizantes fosfatados.

Verificar qual é a melhor dose de P e a melhor fonte a se utilizar em cana-de-açúcar.

Verificar a influência da classe de solo no efeito da adubação fosfatada.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Aspectos básicos da cultura da cana-de-açúcar

4.1.1 Classificação botânica

A cana-de-açúcar, de acordo com a classificação botânica, pertence à divisão Embryophita, subdivisão Angiospermae, classe Monocotyledonae, ordem Glumiflorae, família Poaceae, tribo Andropogonae, subtribo Saccharae, gênero *Saccharum*, espécie *Saccharum* spp (ALVES, 2004). A nomenclatura atual da espécie relaciona-se ao fato de que todas as variedades de cana, cultivadas em todo o mundo, são destinadas a produção de açúcar, álcool, aguardente ou forragem. As espécies cultivadas atualmente têm a sua provável origem na Oceania (Nova Guiné) e Ásia (Índia e China) (ANDRADE, 2003), desta forma, segue abaixo a origem das espécies *Saccharum* segundo Matsuoka et al. (1999).

S. officinarum L. ($2n=80$) - essa espécie é um complexo poliplóide, cujo centro de diversidade é a Nova Guiné, sendo seu centro de origem desconhecido. Admite-se que tenha surgido naquela mesma região, a partir de *S. spontaneum*, *Miscanthus* e *Erianthus arundinaceus*, passando por *S. robustum*. Constitui-se da espécie base dos programas de melhoramento, por possuir características especiais como, colmos suculentos com bom teor de sacarose, elevada pureza do caldo e teor de fibra adequado para moagem. São exigentes em clima e solo e muito sensíveis a doenças, como ao mosaico. Além dessa, tem-se outras como: *S. spontaneum* L. ($2n=40-128$), *S. robustum* Jesw. ($2n=60-205$), *S. sinense* Roxb. ($2n=111-120$), *S. barberi* Jesw. ($2n=81-124$) e *S. edule*. ($2n=60-80$).

Os colmos da cana-de-açúcar constituem-se de fibras (8 - 14%) e caldo (86-92%); composição química média, em %, da cana-de-açúcar madura conforme Grupo Técnico de Consultoria e Apoio (2006): água 74,5, cinzas 0,5, fibra 10, açúcares 14, corpos nitrogenados 0,4, graxa e cêra 0,2, pectinas, gomas e mucilagem 0,2, ácidos livres 0,08, ácidos combinados 0,12.

4.1.2 Clima, temperatura e precipitação

A cana-de-açúcar encontra-se largamente adaptada às faixas de clima tropical e subtropical. Geograficamente a planta se desenvolve entre as latitudes de 35° N, no sul dos Estados Unidos, à 35° S, no Norte da Argentina (PLANALSUCAR, 1986).

A duração do seu período de crescimento vegetativo é variável, sendo de nove a dez meses na Luisiana – EUA, até dois anos ou mais no Peru, África do Sul e Havaí (PARANHOS, 1987).

A distribuição das áreas no Brasil com solos favoráveis sob condições agroclimáticas não limitantes foram descritas pela Planalsucar (Figura 1).

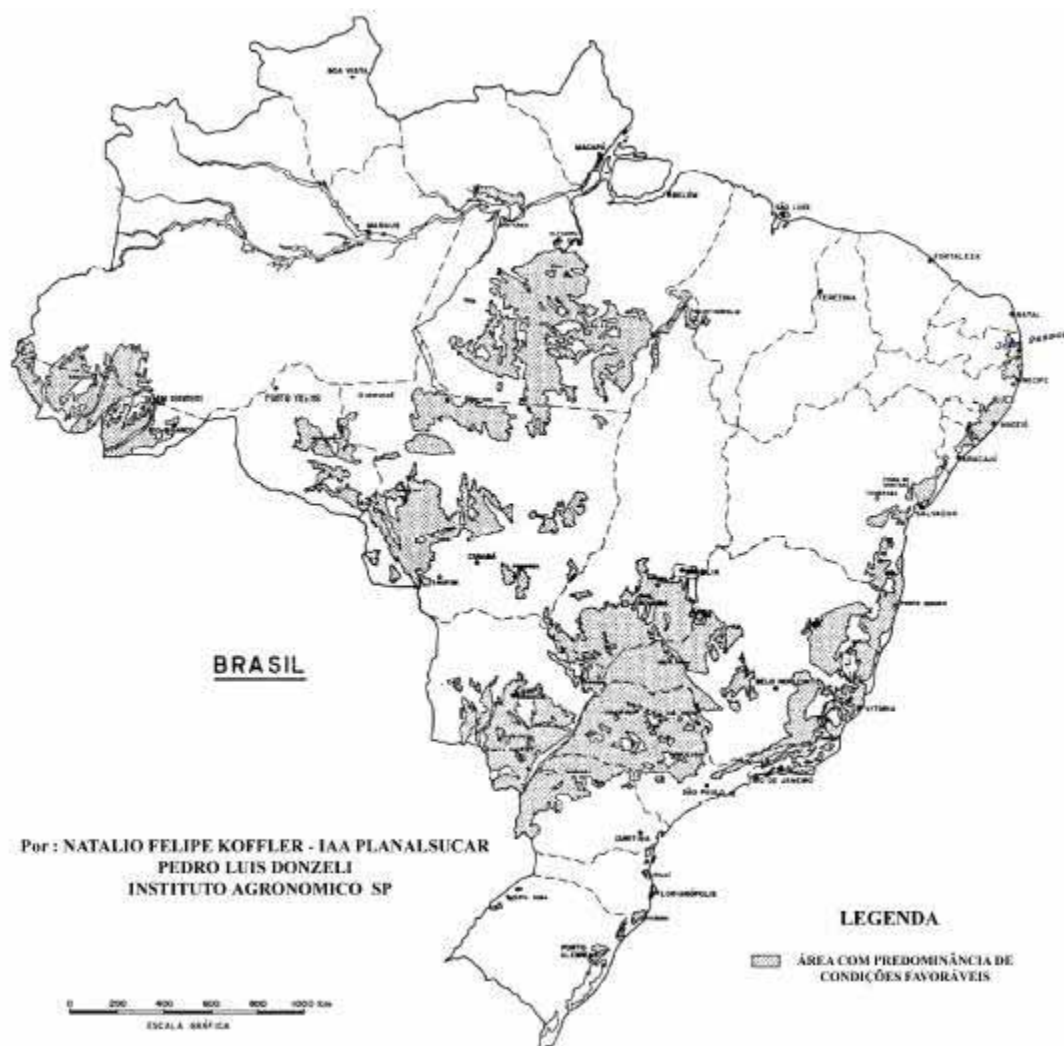


Figura 1. Localização das áreas com solos favoráveis à cultura da cana-de-açúcar sob condições climáticas não limitantes (PLANALSUCAR, 1986).

O acúmulo de sacarose no colmo ocorre quando a produção de açúcares nas folhas excede o consumo energético da planta. Esta produção e consumo são influenciados por diversos fatores como temperatura, umidade, etc. Quando as condições se tornam limitantes ao crescimento vegetativo, maior quantidade de sacarose é armazenada e a cana-de-açúcar entra em maturação (CESAR et al., 1993).

A temperatura ideal para a brotação de cortes no caule é 32 a 38°C. Ocorrendo diminuição em temperaturas abaixo de 25°C, alcança um ápice entre 30-34°C é reduzida acima de 35°C e, ocorre paralisação quando a temperatura está acima de 38°C, com consequente redução da fotossíntese e aumento da respiração.

Para amadurecimento, porém, temperaturas relativamente baixas em uma faixa de 12 a 14°C são desejáveis, desde que isso tenha uma influência notável na redução de crescimento vegetativo e enriqueça em sacarose a cana. Em temperaturas altas uma reversão de sacarose em frutose e glicose pode ocorrer, além do aumento da foto-respiração, então, isso leva a menos acúmulo de açúcares. Climas frios severos inibem a brotação da gema em cultivo da soqueira e reduzem o crescimento de cana. Temperaturas abaixo de 0°C induzem ao congelamento de partes menos protegidas tais como folhas jovens e gemas laterais. O dano depende da extensão do período frio. O início carvão e espalhamento são altos em temperatura ambiente de 25 a 30°C. De forma similar, o espalhamento de vermelho não doente é alto em temperaturas altas (37 a 40°C) quando todas as outras condições são similares. A incidência de ferrugem é alta quando as temperaturas mínimas são drasticamente reduzidas (CGEE, 2010)

De modo geral, o crescimento da cana ocorre no período de umidade intensa e temperatura elevada. Nessa fase não ocorre acúmulo expressivo de sacarose nos colmos. O desenvolvimento da cana-de-açúcar está ligado à temperatura ambiente, sendo máximo entre 30 e 34°C e lento abaixo de 25°C e acima de 35°C (TAUCONNIER; BASSEREAU, 1975).

Quando esgota o crescimento, o teor de açúcar começa a aumentar e a partir daí, a planta requer solo seco e baixa temperatura, de preferência em torno de 20°C. Se plantada em solos permanentemente úmidos, a cana não irá acumular açúcar (MAIA; CAMPELO, 2006).

A cana-de-açúcar é cultivada em regiões cujas precipitações vão desde 1000 até 3000 mm anuais e, em regiões cujas precipitações encontram-se abaixo dos 1000 mm anuais, recomenda-se irrigar (TRENT FILHO, 2008).

A umidade do solo afeta a brotação, pois para que ela ocorra em porcentagem ideal requer-se bom suprimento de água, desde que não se mantenha o solo inundado afetando o fornecimento de oxigênio ou causando erosão (PLANALSUCAR, 1986).

Em síntese, as fases de desenvolvimento vegetativo (brotação, perfilhamento e crescimento) são tanto maiores quanto melhor for a umidade disponível no solo. Porém, o excesso de umidade no solo, ou seja, o encharcamento é maléfico à cultura da cana. Já, a fase de maturação, só ocorrerá por ocasião de déficit hídrico, resultado da condição de seca, já que é necessário a planta cessar o seu desenvolvimento para atingir a maturação (TRENT FILHO, 2008).

Em regiões onde a estação seca não é bem definida obtém-se canas com menor teor de sacarose. O reinício das chuvas, combinado com elevação da temperatura mínima, tem como consequência a retomada do crescimento, diminuindo a quantidade de açúcar na planta (PLANALSUCAR, 1986).

4.1.3 Variedade

A seleção das variedades de cana à serem utilizadas na formação do canavial deve levar em conta a relação entre as suas características, o local de implantação da cultura (TRENT FILHO, 2008). Esta escolha é um fator primordial para que haja retorno do empreendimento. Devem ser selecionadas variedades que apresentem características definidas em relação à maturação, teor de açúcar, exigência em relação ao tipo de solo, resistência às doenças, despalha e porte.

Segundo Maia e Campelo (2006), as variedades de cana-de-açúcar podem atingir um teor máximo de sacarose em épocas distintas, mesmo quando cultivadas em condições semelhantes. Assim, são classificadas em precoces (maturação entre maio e junho), médias (entre julho e agosto) e tardias (a partir de setembro).

Dentre os fatores de produção de cana-de-açúcar, a variedade que é empregada merece destaque, já que é o único fator capaz de proporcionar aumentos significativos na produtividade agrícola e industrial, sem aumentos nos custos de produção. Escolher uma boa variedade para plantio é, desta forma, muito importante (TRENTO FILHO, 2008).

4.2 Importância sócio-econômica da cana-de-açúcar

De acordo com Corrêa (1926), as primeiras canas foram inseridas no Brasil em 1502, originárias da Ilha da Madeira. Naquela época os colonizadores optavam pelo extrativismo da madeira e a descoberta de minas de metais preciosos. Mais tarde, em 1532, Martim Afonso de Souza teve a primeira iniciativa de trazer mudas de cana-de-açúcar, sendo estas as precursoras do cultivo comercial nas Capitâneas.

Na década de 70 a cultura passou a ter grande expressão no País, mais precisamente em 1971 com a criação do Programa Nacional de Melhoramento da cana-de-açúcar, ligado ao IAA e PLANALSUCAR, pelo Governo Federal. A COPERSUCAR e PLANALSUCAR deram um grande impulso à produção canavieira nacional, com a criação de novas variedades, novas técnicas de cultivo e novas técnicas industriais (RIDESA, 2003).

Em 1973, constantes elevações dos preços do barril de petróleo desencadearam a “Crise Energética” ou o “1º Choque do Petróleo”. Os preços continuaram a subir até que, no período 1978/81, caracterizou-se o “2º Choque do Petróleo” (ITURRA, 2004).

Frente à esse cenário, em novembro de 1975, por meio do Decreto nº 75.593, o Governo Federal cria o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), sendo posteriormente aperfeiçoado através do Decreto nº 83.700 editado em julho de 1979, dando início a maiores produções de álcool, o que leva a indústria automobilística a produção de veículos exclusivamente movidos a álcool hidratado (RUIZ, 2006).

O Programa inicia sua queda por dois fatores fundamentais: redução do preço internacional do petróleo, tornando o álcool combustível pouco vantajoso, tanto para o consumidor quanto para o produtor, agravando o problema. O preço do açúcar

começou a se elevar no mercado internacional, aumentando a pressão pela sua produção. Iniciou-se a falta de álcool nos postos de combustíveis. Com sucessivas crises de abastecimento, aliadas ao maior consumo do carro à álcool e o menor preço da gasolina, levando o Proálcool à descrença geral por parte dos consumidores e das montadoras de automóveis (RUIZ, 2006).

Contrariamente a este cenário, no aspecto agrônômico, a cultura torna-se extremamente importante, sendo cultivada em áreas subtropicais, entre 15 e 30° de latitude, podendo se estender até 35° de latitude tanto norte quanto sul, sendo produzida comercialmente em mais de 70 países e territórios (LIMA, 2008).

No Brasil, a cana-de-açúcar é atualmente cultivada em 8,8 milhões de hectares e constitui-se em matéria prima para três importantes produtos da agroindústria: açúcar, álcool etílico e aguardente (CONAB, 2013). Ultimamente busca-se a produção de uma matéria prima com elevada riqueza em sacarose e de médio a baixo teor de fibras, que possibilite também a produção de energia, dada a grande quantidade de bagaço gerada após a industrialização da cana-de-açúcar.

O Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar atualmente, participando com cerca de 33% da produção mundial, seguido pela Índia (22%) e China (7%). Embora o Brasil apresente condições climáticas que propiciem o cultivo da cana-de-açúcar, a sua produtividade média ainda é baixa ($69,4 \text{ t ha}^{-1}$) devido às características dos solos brasileiros, como baixa fertilidade, baixos teores de matéria orgânica e elevada acidez e, também, às práticas culturais inapropriadas e aos elevados custos dos fertilizantes (CONAB, 2013).

O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,87% (4.419,46 mil hectares), seguido por Goiás com 8,52% (725,91 mil hectares), Minas Gerais com 8,47% (721,86 mil hectares), Paraná com 7,17% (610,83 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,37% (542,70 mil hectares), Alagoas com 5,23% (445,71 mil hectares) e Pernambuco com 3,84% (327,61 mil hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3% (CONAB, 2013).

A atual produção total de cana-de-açúcar moída na safra 2013/14 foi de 597,06 milhões de toneladas na região Centro-Sul, com aumento de 12,07% em relação à safra 2012/13, que foi de 532,76 milhões de toneladas (UNICA, 2014).

A produção de açúcar na safra 2013/14 foi de 34,3 milhões de toneladas, 0,58% a mais que na safra anterior, que foi de 34,1 milhões de toneladas. A produção de etanol, por sua vez, atingiu 25,6 bilhões de litros com aumento de 19,7% sobre os 21,4 bilhões de litros gerados na safra passada (UNICA, 2014).

Portanto a importância socioeconômica da cultura canavieira em solos brasileiros é decorrente da sua múltipla utilidade, sendo o álcool combustível, produzido a partir da cana-de-açúcar, que coloca o Brasil na vanguarda da produção de energia renovável no mundo, gerando fonte de energia alternativa mais barata e menos poluente, como demanda o protocolo de Kyoto. Os combustíveis líquidos renováveis são importantes substitutos dos derivados de petróleo, consistindo em oportunidade para o fortalecimento da agricultura no Brasil (LIMA, 2008). Acrescenta-se ainda seu uso para a fabricação de açúcar e aguardente, conforme já descrito anteriormente, além de sua utilização in natura para alimentação animal.

4.3 Fósforo no solo

4.3.1 Importância do fósforo

O fósforo (P) é um importante macronutriente das plantas. Constitui cerca de 0,2% do peso seco das plantas, e, depois do nitrogênio, é o macronutriente que mais limita o crescimento dos vegetais. Promove a formação inicial e o desenvolvimento radicular, exercendo função chave no metabolismo da cana-de-açúcar, como por exemplo, a formação de proteínas, divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração e fornecimento de energia a partir do ATP e síntese de sacarose. Também, durante o processo metabólico, o composto glucose-1-fosfato une-se à frutose para formar a sacarose, matéria-prima para a produção de açúcar e etanol (ALEXANDER, 1973).

O P tem a propriedade de aumentar a eficiência da utilização de água pela planta, assim como a absorção e utilização de outros nutrientes, contribuindo para aumentar a resistência da planta a algumas doenças, suportar baixas temperaturas e falta de umidade (KORNDÖRFER, 2004).

O fósforo absorvido pelas plantas é originário da solução do solo, onde existem baixas quantidades do nutriente. A principal forma química absorvida é o íon ortofosfato (H_2PO_4^-). Existe um equilíbrio químico entre as formas de P em solução e fracamente adsorvido (P lábil). Assim que o P é retirado da solução ocorre a reposição, de forma a manter o equilíbrio. Com o passar do tempo, formas mais estáveis de fósforo são formadas, aumentando o reservatório de P não-lábil (RAIJ, 1991).

A seguir são discutidos alguns aspectos mais aprofundados sobre as principais formas de fósforo no solo.

4.3.2 Formas de fósforo no solo

Nos sistemas naturais, os minerais fosfatados primários constituem a fonte de fósforo primordial do solo às plantas. Como o P é constituinte estrutural dos minerais, para que seja utilizado pelos organismos vivos, deve ocorrer o rompimento de sua estrutura cristalina para o elemento ser liberado. O rompimento desses minerais primários ocorre mediante processos de intemperização. O fósforo é então liberado para a solução do solo e readsorvido pelos colóides, mas parte dele é absorvido pelos organismos do solo e pelas plantas. Neste estágio de formação do solo, ocorre a maior biodisponibilidade de fósforo, já que os colóides inorgânicos são pouco intemperizados e a quantidade de sítios adsorventes é pequena; por isso, ele é retido com baixa energia, facilitando seu retorno à solução do solo (WILLIAMS; WALKER, 1969).

Simultaneamente à utilização de fósforo pelos organismos vivos, seus resíduos são depositados no solo e uma nova forma de fósforo é acumulada, o fósforo orgânico. Com o passar do tempo, os minerais fosfatados vão sendo degradados, através do intemperismo, e sua contribuição no fornecimento de fósforo ao sistema é diminuída. Somado a isso, os minerais do solo também sofrem a ação do intemperismo, reduzindo sua cristalinidade e aumentando os sítios de adsorção aniônica. Com isso, ocorre uma mudança de caráter da fase sólida mineral do solo frente à disponibilidade de fósforo, passando de fonte a dreno da solução, devido à

formação de complexos de alta energia de difícil reversibilidade, o que diminui a biodisponibilidade do nutriente. Desta forma, em solos muito intemperizados, a mineralização do fósforo orgânico passa a ser a fonte principal de fósforo, já que os colóides inorgânicos atuam principalmente como dreno e competem com as plantas pelo fósforo (SMECK, 1973; WALKER; SYERS, 1976; SMECK, 1985, SHARPLEY et al., 1987).

Assim, o destino do fósforo dos minerais primários é o próprio solo, pois estabiliza-se em compostos inorgânicos e orgânicos de alta energia de ligação, ficando a sua utilização dependente da interceptação antes da passagem para formas mais estáveis e da mineralização do fósforo orgânico. Sanches e Logan (1992) estimam que 25% dos solos tropicais e subtropicais, caracterizados pelo alto grau de intemperismo, apresentam deficiência acentuada de fósforo.

Desta forma é possível afirmar que o fósforo do solo é dividido em dois grandes grupos: fósforo inorgânico e fósforo orgânico, dependendo da natureza do composto a que está ligado. Dentro destes dois grupos, as formas de fósforo são de difícil identificação devido à infinidade de reações que o elemento e seus compostos resultantes pode sofrer (GATIBONI, 2003).

O primeiro grupo é o fósforo orgânico, que pode constituir de 20 a 80% do fósforo total do solo (DALAL, 1977), sendo extremamente importante nos solos tropicais, pois atua na disponibilidade de fósforo às plantas (WALKER; SYERS, 1976; TIESSEN et al., 1984; CROSS; SCHILESINGER, 1995) e deve ser levado em consideração em estudos envolvendo a sua dinâmica e a biodisponibilidade.

O fósforo orgânico tem origem nos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição. A grande variedade de compostos orgânicos no solo faz com que mais da metade das formas de fósforo orgânico ainda não tenham sido identificadas. As principais formas já identificadas são os fosfatos de inositol, que compõem de 10 a 80% do fósforo orgânico total, os fosfolipídios (0,5 a 7%), ácidos nucleicos (~3%) e outros ésteres fosfato (> 5%) (DALAL, 1977).

A estabilidade destes compostos depende de sua natureza e da interação com a fração mineral, pois estes são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, cujo resultado é a sua mineralização e, consequente

disponibilização do P. Alguns compostos como ácidos nucléicos e fosfolipídios com ligação diéster possuem estrutura química que facilita sua decomposição, sendo facilmente mineralizáveis e, por isso, as quantidades armazenadas no solo são pequenas. Já os fosfatos monoésteres, como por exemplo o fosfato inositol, apresentam alta energia de ligação com a estrutura química da molécula e alta carga residual, o que lhe confere facilidade de interação com os constituintes inorgânicos do solo. Isso dificulta a mineralização e favorece o acúmulo no solo, sendo de baixa labilidade e disponibilidade às plantas (DALAL, 1977; TATE, 1984; STEWART; TIESSEN, 1987). Desta maneira, a maioria do fósforo orgânico do solo é encontrada na forma de fosfatos de inositol, seguido dos fosfolipídios e ácidos nucléicos (RHEINHEIMER et al., 2000).

O segundo grupo constitui o chamado fósforo inorgânico, que pode ser separado em duas partes, o fósforo dos minerais primários (estrutural) e o fósforo adsorvido, além do fósforo da solução do solo, este encontrado em pequenas quantidades. A identificação dos minerais primários fosfatados por difratometria de raios X é difícil porque constituem apenas uma pequena parte dos minerais do solo, variando de 0,02 a 0,5% (LINDSAY et al., 1989). Já o fósforo inorgânico adsorvido pode ocorrer em todos os minerais presentes no solo devido a grande facilidade em formar complexos de alta energia de ligação. Assim, o fósforo inorgânico do solo pode ser encontrado ligado ao ferro, alumínio e cálcio, adsorvido a argilas silicatadas do tipo 1:1, e, principalmente, adsorvido a oxihidróxidos de ferro e alumínio (PARFITT, 1978), resultando em baixos teores na solução do solo.

As formas precipitadas de fósforo, entre elas strengtita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), variscita ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), fluorapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$), hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), fosfato dicálcico dihidratado ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e fosfato octacálcico ($\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), mantém os íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} na solução do solo na faixa de valor pH entre 5,0 e 7,0. Em valor pH baixo (menor que 5,0), há maior ocorrência do fósforo nos minerais que contém ferro e alumínio, enquanto em pH maiores, isso acontece preferencialmente nos minerais com cálcio, sendo que a variação do pH pode promover a dissolução e formação de outros compostos (PARFITT, 1978, FIXEN; LUDWICK, 1982).

A adsorção do fosfato aos oxihidróxidos de ferro e alumínio ocorre, principalmente, nas formas de baixa cristalinidade e com alto desbalanço de cargas (SANYAL; DATTA, 1991). Esta adsorção ocorre nos sítios ácidos de Lewis, onde os grupos OH e OH_2^+ ligados monocoordenadamente ao metal (Fe ou Al) são trocados pelo fosfato, caracterizando o fenômeno conhecido como troca de ligantes (PARFITT, 1978).

A adsorção do fósforo aos minerais que contém cálcio apresenta três estágios: a) quimiosorção do fosfato ao mineral, quando forma o fosfato de cálcio amorfo; b) cristalinização do mineral e, c) crescimento do cristal pelo acréscimo de novas camadas (PARFITT, 1978). Estes passos caracterizam o "envelhecimento" do fosfato de cálcio, reportado também por Sanyal e Datta (1991), os quais alertam que o fosfato dicálcico pode lentamente transformar-se em fosfato octacálcico.

Quando grânulos de fertilizantes fosfatados solúveis são adicionados ao solo, depois da entrada de água no grânulo, uma solução saturada de fosfato monocálcico é liberada e, em menor concentração, fosfato dicálcico e ácido fosfórico, que acidificam o solo na região do grânulo, estabilizando o pH em torno de 1,5. A solução ácida proveniente do grânulo move-se no solo por difusão e, devido ao baixo pH, solubiliza os oxihidróxidos de ferro e alumínio na vizinhança do grânulo, provocando a adsorção do fosfato. Se o solo possuir abundância de cálcio, podem ser formados fosfatos de cálcio (SOUSA; VOLKWEISS, 1987; RHEINHEIMER et al., 2000) que, dependendo do pH, podem ser dissolvidos mais facilmente do que aqueles ligados aos oxihidróxidos. Por outro lado, quando o fertilizante adicionado ao solo for um fosfato natural, a liberação do fósforo dependerá da degradação do mineral do fertilizante (apatita). Nestas situações, o baixo pH do solo, baixos teores de fósforo e, principalmente, os baixos teores de cálcio promovem melhor dissolução do fertilizante (ROBINSON; SYERS, 1990; SANYAL; DATTA, 1991).

4.4 Fósforo na cultura da cana-de-açúcar

De acordo com a literatura, as maiores doses de fósforo devem ser aplicadas no fundo do sulco de plantio (OLIVEIRA et al., 2007a). Essa aplicação em

profundidade eleva a absorção do nutriente pela cultura, devido ao fato de que a disponibilidade hídrica da subsuperfície varia menos que na superfície. A aplicação de fósforo em cana-soca também faz-se necessária. A necessidade de aplicação de fósforo em cana-de-açúcar, de acordo com Spironello et al. (1997), é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Doses de fósforo sugeridas para a adubação da cana-planta, com base na disponibilidade do nutriente extraído com resina de troca iônica e na expectativa de produção.

Expectativa de produção t ha ⁻¹	P resina (mg dm ⁻³)			
	0-6	7-15	16-40	>40
	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)			
<100	180	100	60	40
100-150	180	120	80	60
>150	(1)	140	100	80

(1) Não é provável obter a produtividade dessa classe com teor muito baixo de P no solo.

A obtenção de produções acima de 150 t ha⁻¹, quando o P extraído com resina for menor que 6 mg dm⁻³, é pouco provável. Entretanto, estudos conduzidos por Oliveira et al. (2002), em área de Cerrado recém-desbravadas no Nordeste de Minas Gerais, com P inferior a 6 mg dm⁻³, obteve-se produtividade superior a 200 t de colmos por hectare, em cana-planta com ciclo de 14 meses, adubada com 100 kg ha⁻¹ de P com irrigação complementar de 120 mm.

A aplicação de fósforo no plantio assegura, na maior parte das vezes, o suprimento adequado do nutriente para a primeira rebrota (OLIVEIRA et al., 2007a), devendo-se utilizar formulações contendo P na adubação das rebrotas posteriores conforme análise do solo. De acordo com Spironello et al. (1997), um solo cujo teor de P extraído em resina seja de 0 a 15 mg dm⁻³, seria necessário a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por outro lado, se o valor detectado na análise de solo for maior que 15 mg dm⁻³, não será necessária a aplicação do nutriente.

Depois de aplicado ao solo, o fósforo é absorvido pela cultura na forma de H₂PO₄⁻ ou HPO₄²⁻. Entretanto, a primeira forma que predomina no solo, sendo esta também a que é absorvida em maiores quantidades. Antes dessa absorção, é necessário o contato íon-raiz. Para o fósforo, esse movimento do nutriente é

governado pelo fenômeno da difusão (movimento de íons a favor de um gradiente de concentração), sendo responsável por mais de 94% do contato entre fósforo e raiz. É um movimento caracterizado por percorrer pequenas distâncias, indicando a necessidade de aplicação localizada (próxima ao sistema radicular da planta) (PRADO, 2008).

O processo de absorção ocorre em duas fases: uma passiva e rápida e outra ativa e mais lenta. Em relação a isto, Malavolta et al. (1997) verificaram o processo passivo e ativo na absorção de fósforo marcado. No caso do fósforo ($\text{H}_2\text{P}^{32}\text{O}_4$), observaram-se nos primeiros 60 minutos uma absorção rápida, indicando o processo passivo, e, em seguida, uma absorção lenta de até 240 minutos, caracterizando o processo ativo.

Na cana-de-açúcar, Holford (1997) verificaram que a deficiência de fósforo aos dois meses de idades reduziu a atividade fotossintética mais que o nitrogênio ou o potássio. Embora a quantidade total do fósforo no solo possa ser relativamente alta, na maioria das vezes este não se encontra em sua forma lábil ou ao alcance da rizosfera. Cerca de 80% do total do P iônico aplicado torna-se indisponível, sendo imobilizado, adsorvido e/ou acaba adquirindo uma forma orgânica (HOLFORD, 1997).

Em cana-de-açúcar, o P assume grande importância no vigor do enraizamento e no perfilhamento (CLEMENTS, 1980; MALAVOLTA et al., 1967) e, portanto, na produtividade final.

O sintoma de deficiência mais importante é o baixo crescimento da planta. Sendo a formação de folhas afetada, com tons arroxeados nas folhas mais velhas, mais estreitas e curtas, prejudicando a quantidade de clorofila. Ocorre baixo perfilhamento, menor altura e engrossamento dos colmos, menor diâmetro e encurtamento dos entrenós (ESTEVEES, 1986).

As características tecnológicas da cana e a presença de fósforo no caldo exercem importante influência no processo de clarificação. Caldos com baixo teor de fósforo são de difícil floculação, prejudicando a decantação de impurezas presentes, produzindo açúcar de baixa qualidade e menor valor econômico. Durante o processo de clarificação do caldo o fósforo reage com o hidróxido de cálcio para a formação

de fosfato tricálcico, o qual ao flocular e sedimentar, arrasta as impurezas para o fundo (KORNDÖRFER, 2004).

4.5 Torta de filtro

A torta de filtro é um resíduo proveniente da agroindústria sucroalcooleira. É composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, proveniente do processo de tratamento do caldo. Nunes Júnior (2008) relata que a torta de filtro sai dos filtros rotativos após extração da sacarose residual da borra com 75 a 80% de umidade e é um excelente produto orgânico para a recuperação de solos exauridos ou de baixa fertilidade. Sua composição química média apresenta altos teores de matéria orgânica e fósforo, sendo também rica em nitrogênio e cálcio, além de teores consideráveis de potássio, magnésio e micronutrientes.

O fósforo existente na torta de filtro é orgânico e sua liberação, tal como, também, do nitrogênio, se dá gradativamente por mineralização e por ataque de microorganismos no solo. O cálcio que aparece em grande quantidade é resultado da chamada caleação do caldo durante o processo de tratamento para a fabricação do açúcar; já o fósforo provém da adição de produtos auxiliares de floculação das impurezas do caldo (SANTOS et al., 2011).

Conforme trabalho de revisão publicado por Prado, Caione e Campos (2013), o uso agrícola da torta de filtro vêm sendo muito estudado nos últimos anos em vários países como Brasil, Índia, Austrália, Cuba, Paquistão, Taiwan, África do Sul, Argentina, entre outros. Dentre os principais benefícios destaca-se as alterações significativas nos atributos químicos do solo, especialmente no aumento da disponibilidade de P, Ca (NARDIN, 2007), N, carbono orgânico, CTC e diminui os teores de Al trocável (KORNDÖRFER; ANDERSON, 1997). Além disso, destacam-se, também, benefícios nas propriedades físicas e biológicas do solo. Neste sentido, a torta de filtro aplicada no sulco de plantio da cana-de-açúcar tem potencial para substituir parte da adubação química fosfatada (ANJOS et al., 2007; SANTOS et al., 2011).

Existem algumas indicações quanto à dose a ser aplicada em cultivos de cana-de-açúcar. No estado de São Paulo, recomenda-se a aplicação em área total,

no pré-plantio de 80 a 100 t ha⁻¹ de torta de filtro úmida; 15 a 30 t ha⁻¹ no sulco de plantio ou 40 a 50 t ha⁻¹ nas entrelinhas (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Em associação com fertilizante fosfatado solúvel foi verificado que a maior dose testada (4 t ha⁻¹ de torta, base seca) proporcionou os melhores resultados (SANTOS, 2012).

Desta forma são muitas as informações relativas a importância da torta de filtro na nutrição da cana-de-açúcar, com aumento substancial na produção. Segundo Penso et al. (1982), uma das formas para seu aproveitamento é a possibilidade de aplicá-la na agricultura, misturada com fosfatos naturais, uma vez que a torta de filtro teria a capacidade de melhorar a solubilidade desses compostos, disponibilizando mais rapidamente o fósforo, comparado com a sua aplicação sem a torta.

4.6 Respostas da cana-de-açúcar à aplicação de fósforo

4.6.1 Efeitos do fósforo no crescimento da cana-de-açúcar

A região canavieira de São Paulo, apesar de possuir bom nível tecnológico, ainda carece de informações básicas, em especial no que diz respeito ao conhecimento dos fatores de crescimento da cultura. Trabalhos pioneiros realizados com cana-de-açúcar na região consideravam apenas dados finais de produtividades sem nenhum detalhamento do crescimento e desenvolvimento da cultura. Neste sentido, a análise de crescimento da planta pode tornar-se uma ferramenta fundamental por permitir a avaliação do acúmulo sequencial de matéria seca nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura.

Na cultura da cana-de-açúcar a análise de crescimento tem sido utilizada como instrumento significativo para avaliar o desempenho de variedades (OLIVEIRA et al., 2004; 2005), o efeito de diferentes níveis de estresse hídrico nas fases de desenvolvimento e parâmetros de crescimento (RAMESH, 2000; RAMESH; MAHADEVASWAMY, 2000) e diferentes tipos de manejo (GAVA et al., 2001). Assim, é interessante fazer uso dessa ferramenta para verificar a influência de

fontes de fósforo, associadas à torta de filtro, em diferentes doses no crescimento da cultura.

Diversos estudos têm abordado a importância de fontes de fósforo no crescimento da cultura de cana-de-açúcar, como é o caso de Santos et al. (2009) que trabalhou com várias fontes de P em Coruripe, AL. Assim como Oliveira et al. (2004), Orlando Filho e Rodella (1995), Ramesh e Mahadevaswamy (2000), Shankaraiah et al. (2000), Silva et al. (2008), Suguitani (2001), Oliveira et al. (2007b), Farias et al. (2008), Landell (2002) e Caione et al. (2011a).

Por outro lado, são poucos os estudos que comparam o efeito de fontes e doses de fósforo associados ao composto orgânico no crescimento da cultura da cana-de-açúcar. Neste sentido, Caione et al. (2011b) estudaram o efeito de modos de aplicação de fósforo (área total e no sulco) e doses (0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹ em área total e, também, 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ no sulco).

4.6.2 Efeitos da aplicação de fósforo na fisiologia da cana-de-açúcar

Apesar da importância biológica do P na cana-de-açúcar, a quantidade do nutriente absorvida pela planta é relativamente baixa, atingindo 18 kg de P para a produção de 100 toneladas de massa fresca de colmos (ORLANDO FILHO, 1993).

Em situações de deficiência de P poderá haver reflexos no metabolismo vegetal que pode ser avaliado pela atividade bioquímica, como alterações na atividade da fosfatase (BESFORD, 1979), glutamato-oxaloacetato transaminase (ACHITUV; BAR-AKIVA, 1976), teores de metabólitos, como aminoácidos livres (RABE, 1990), que inclusive podem ser utilizados como diagnóstico alternativo de desordem nutricional de P. Os testes bioquímicos podem refletir melhor a concentração metabolicamente ativa dos nutrientes, em relação à análise foliar, que quantifica o teor total do nutriente absorvido, não permitindo quantificar a proporção dessa quantidade que estaria metabolicamente ativa na planta (CAZETTA et al., 2010).

Na falta do P em cana-de-açúcar, os sintomas de deficiência aparecem inicialmente nas folhas mais velhas, apresentando-se mais finas, estreitas, curtas e

arroxeadas, e, ainda, ocasiona menor brotação, perfilhamento, altura de plantas, diâmetro de colmos, encurtamento dos entrenós e sistema radicular atrofiado (KORNDÖRFER, 2004).

4.6.3 A importância da atividade da fosfatase ácida em plantas

As fosfatases ácidas são enzimas que catalisam a hidrólise de P-inorgânico (Pi) de uma ampla gama de monoésteres fosfatos e possuem capacidade de agir em substratos ácidos (DUFF et al., 1994). Fosfatases ácidas de organismos eucariontes existem em uma grande variedade de tecidos e/ou compartimentos celulares e são classificadas como isoenzimas específicas, que variam nas suas propriedades físicas e cinéticas (LI et al., 2002).

As alterações na absorção de P, em consequência dos atributos dos solos, que variam quanto à disponibilização deste elemento para as plantas, afetam as formas em que são armazenadas na planta (BIELESKI, 1973). Segundo o mesmo autor, em condições de elevada concentração de P, ocorre acúmulo na forma inorgânica nos vacúolos, servindo como reserva. O nível de P inorgânico é mais sensível à disponibilidade do elemento no meio do que os níveis de várias frações orgânicas de P na planta.

Mesmo que os mecanismos envolvidos não sejam ainda totalmente explicados, a dinâmica das frações fosfatadas na planta está relacionada com a atividade de fosfatases, estas são enzimas responsáveis pela desfosforilação de moléculas orgânicas. À medida que diminui o suprimento de P para as plantas, ocorre um aumento da atividade dessas enzimas (BIELESKI; FERGUNSON, 1983).

Neste sentido, as pesquisas evidenciaram que algumas plantas desenvolveram a capacidade, dentro de limites dependentes das espécies, de tolerar grandes períodos de privação de Pi através de uma série de adaptações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, conhecidas coletivamente como a resposta à deficiência de P (P-starvation) (TRAN et al., 2010). A resposta à deficiência de P surge, em parte, a partir da indução coordenada de centenas de genes que priorizam o uso interno do Pi e maximizam a aquisição do Pi externo (VANCE et al.,

2003; RICHARDSON, 2009; RICHARDSON et al., 2009; RAGHOTHAMA; KARTHIKEYAN, 2005). A evolução das estratégias elaboradas para aumentar a aquisição e utilização de Pi do ambiente permite que muitas plantas se desenvolvem de forma eficaz em locais com deficiência de Pi.

As plantas empregam uma série de adaptações bioquímicas como parte da resposta à deficiência de P. Estes incluem o acúmulo de antocianinas em folhas, a indução de transportadores de alta afinidade a P, produção de enzimas alternativas de derivação para o ciclo do P ou de reações dependentes da glicólise e respiração mitocondrial. O acúmulo de antocianina tem sido frequentemente observado na parte aérea das plantas deficientes em P e, acredita-se que este processo protege os cloroplastos da foto-inibição (PLAXTON, 2004; FANG et al., 2009; YUAN; LIU, 2008).

A hipótese de que a atividade da enzima fosfatase ácida é aumentada em situações onde existe a deficiência de P foi comprovada por vários autores (GARCIA; ASCENCIO, 1992; SUN; ZHANG, 2002; KOUAS et al., 2009). Desta maneira, a atividade da enzima tem sido estudada como resposta da planta à deficiência de P (ASCENCIO, 1994). Silva e Basso (1993) observaram correlação negativa entre a atividade “in vivo” da fosfatase ácida com o crescimento e as quantidades de P acumuladas pela parte aérea e subterrânea da cana-de-açúcar.

O aumento da atividade da fosfatase ácida parece ocorrer em virtude de um incremento na “síntese denovo” da enzima, cuja formação é inibida pelo íon fosfato por um mecanismo de retroinibição (REID; BIELESKI, 1970).

Em estudos de correlação, geralmente se relaciona a quantidade do nutriente disponível no solo por determinado extrator com o conteúdo total do nutriente na planta. No entanto, como o nutriente pode se encontrar sob variadas formas no tecido vegetal, o conteúdo nem sempre reflete o estado nutricional da planta. Segundo Besford (1979), a determinação da atividade de fosfatases para algumas espécies vegetais pode ser utilizada como uma ferramenta de diagnose nutricional, prevendo deficiência de P nas plantas antes do aparecimento dos sintomas visuais de deficiência.

Todavia, para ser utilizada como ferramenta de diagnose da nutrição fosfatada, é necessário o estabelecimento de padrões para as diversas espécies de

plantas e a parte da planta a ser amostrada (ASCENCIO, 1994). Sendo necessário desta forma estudos que correlacionem a atividade da enzima com os teores refletidos na diagnose foliar para um maior espectro de informações sobre as duas determinações.

4.6.4 Fósforo *versus* Produção

O P é móvel nos tecidos da planta, estando fortemente ligado aos processos metabólicos das plantas, concentrado nas regiões de crescimento mais ativo (MALAVOLTA et al., 1997). O P também é necessário para a síntese do trifosfato de adenosina (ATP) e de numerosos outros compostos fosforilados; é a molécula responsável pelo armazenamento celular de energia (EPSTEIN, 1975). Portanto, a importância do nutriente para a produtividade das plantas decorre de sua participação em estruturas e processos vitais, refletindo em divisão e alongamento celular, incrementando o crescimento das raízes (BAHADUR et al., 2002) e o desenvolvimento dos vegetais (MARSCHNER, 1995).

A extração e a exportação de P pela cultura podem variar em função da variedade e do tipo de solo (GOMES, 2003). Além disso, a exportação de P pode ser afetada pelo nível de produtividade da cultura. Em nível mundial, existem vários trabalhos que descrevem variação de índices de produtividade, em especial, Índia, Brasil, Cuba, Austrália e México, apresentando grande variação de índices de produtividade (EL-TILIB et al., 2004); portanto, espera-se variação na quantidade exigida de P pela cana-de-açúcar nas diferentes regiões do mundo.

O P é um nutriente indispensável para os processos metabólicos das plantas, de acordo com o exposto anteriormente, há um reflexo importante para a cana-de-açúcar em relação ao enraizamento, crescimento e perfilhamento. Desta forma deve-se atentar para a aplicação de quantidades adequadas para suprir a cultura no momento do plantio, pois este irá refletir na produtividade da cana-planta e, também, de suas soqueiras posteriores.

De acordo com Zambello Júnior e Azeredo (1983), assim como constatado em Raj et al. (1997), a maior aplicação de P deve ser efetuada na ocasião do plantio

da cana-de-açúcar, visando nutrir a cana-planta e as soqueiras subsequentes.

Nesse sentido, a melhor localização do adubo é no fundo do sulco de plantio para suprir a cultura nos ciclos de cana-planta e soqueiras (ORLANDO FILHO, 1993), visto que o P é pouco móvel no solo sendo que o movimento no solo se dá por difusão.

Diversos trabalhos avaliando a nutrição fosfatada em cana-de-açúcar vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos, nas diferentes regiões produtoras de cana-de-açúcar do mundo. Segundo Meyer e Wood (1989), na região produtora de cana-de-açúcar da África do Sul, diversas pesquisas foram desenvolvidas, a fim de determinar a exigência nutricional de P pela cana-de-açúcar. Na Guatemala, Perez e Melgar (1998) verificaram que o P é o nutriente que mais limita a produção de cana-de-açúcar. El-Tilib et al. (2004), avaliando a nutrição fosfatada da cana-planta cultivada em três classes de solo, verificaram incremento nas variáveis de crescimento.

Existem na literatura diversos trabalhos que demonstram a elevação da produção de cana-de-açúcar em detrimento da aplicação de P (SHANKARAIHA e MURTHY, 2005; BOKHTIAR et al., 2008; KORNDÖRFER; MELO, 2009; SANTOS et al., 2009; DEVI et al., 2012; CAIONE et al., 2013; TSADO et al. 2013), assim como os já conhecidos trabalhos envolvendo colheita com o uso da despalha a fogo (ALBUQUERQUE et al., 1980; KORNDÖRFER et al., 1989; MORELLI et al., 1991) e outros sem uso da despalha a fogo (CRUZ et al., 2009; SANTOS et al., 2010; CAIONE et al., 2011a,b), tendo diferentes resultados na produtividade da cultura.

Além dos estudos de doses de P, existem outros comparando fontes de P em cana-planta. Caione et al. (2011a) verificaram incremento na produtividade da cana-planta com o emprego da dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de farinha de ossos, superfosfato triplo e fosfato de Arad, em relação ao tratamento-controle; entretanto, destacou-se a fonte orgânica de P (farinha de ossos), promoveu maiores concentrações de P no tecido foliar e incremento de 40% na produtividade. Korndörfer et al. (1989) avaliaram a eficiência de fontes de P na produtividade da cana-planta e verificaram a importância dos fertilizantes na seguinte ordem: superfosfato simples > superfosfato triplo > ácido fosfórico > ácido fosfórico + rocha fosfatada.

Entretanto, esses estudos comparando fontes de P foram realizados sem a associação com material orgânico, como a torta de filtro. Por outro lado, Santos et al. (2009), avaliando as respostas de cana-planta à adubação com diferentes fontes de fósforo, em Coruripe-AL, constataram que as fontes de fósforo não influenciaram o crescimento da cana-planta em função do efeito residual, proveniente de adubações anteriores, mas proporcionaram produtividades médias superiores a 80 t ha⁻¹.

Outro importante fator que envolve a produção de cana-de-açúcar seria a aplicação de torta de filtro, subproduto que, como já mencionado anteriormente, possui grande quantidade de P em sua composição (TORRES et al., 2012). Neste sentido, trabalhos recentes demonstraram que a aplicação da torta como fertilizante resultou em ganhos produtivos na cultura da cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2010, 2012a). Por outro lado, Santos et al. (2014), avaliando a associação de torta de filtro com fosfato solúvel (superfosfato triplo) em Presidente Prudente-SP, verificaram efeito residual da adubação fosfatada em primeira soqueira, promovendo aumento dos componentes de produção e, também, de produção de colmos, com a melhor associação de 1,0 e 2,0 t ha⁻¹ de torta com fosfato solúvel entre 100 e 200 kg ha⁻¹.

Neste sentido, dois recentes trabalhos evidenciaram a importância da aplicação da torta de filtro associada a diferentes fontes e doses de P. Caione (2013), trabalhando com dois tipos de solo (ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico), observou que os componentes de produção e a produção de colmos foi favorecida pela presença do composto orgânico aplicado no sulco de plantio em cana-planta. Vasconcelos et al. (2014), trabalhando com três fontes de P em doses crescentes associadas a torta de filtro, verificaram que a aplicação conjunta do composto aumentou as concentrações do nutriente no solo em 47,2% (15,4 mg dm⁻³), na folha diagnóstica oito meses após o plantio em 7,1% (1,4 g kg⁻¹), na parte aérea de cana-planta em 36,3% (10,6 kg ha⁻¹), culminando em incremento da produção de colmos em 3,4% (122,6 t ha⁻¹) em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em duas regiões do estado de São Paulo. Para isto, foram montados dois experimentos, um em solo argiloso e outro em solo arenoso, ambos com baixo teor de P, avaliando-se a brota da cana (cana-planta) e a primeira rebrota (primeira soqueira). Inicialmente foi realizada a amostragem de solo, coletando-se 20 subamostras para compor a amostra composta. De acordo com os resultados da análise química para fins de fertilidade do solo, foi realizado, cerca de 30 dias antes do plantio da cana-planta, a aplicação de material corretivo (calcário calcinado) com o objetivo de elevar a saturação por bases (V) a 60%, conforme recomendação de Spironello et al. (1997).

5.1 Localização e clima

Foram instalados dois experimentos junto à Usina Colombo S/A, em dois municípios, Santa Adélia e Santa Albertina, estado de São Paulo, apresentando as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21° 16' 49" S, longitude 48° 49' 38" O, e altitude de 590 m para o experimento em Santa Adélia e latitude 20° 02' 44" S, longitude 50° 37' 55" O para o experimento em Santa Albertina.

Obteve-se fotos aéreas dos locais experimentais, obtidos por imagens via satélite (Google Earth) (Figuras 2 e 3).



Figura 2. Vista geral da área do experimento no município de Santa Adélia (Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico - PVAe).



Figura 3. Vista geral da área do experimento no município de Santa Albertina (Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVAde).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante nas regiões de ambas as cidades é do tipo Aw, tropical chuvoso com inverno seco e mês mais

frio com temperatura média superior a 18°C. O mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e com período chuvoso que se atrasa para o outono.

Os dados climáticos referentes às médias de temperaturas máximas, mínimas e precipitação pluviométrica durante o período experimental estão apresentadas nas Figuras 4a e 4b. A precipitação total acumulada durante os experimentos, na safra 2012/2013 (cana-planta) foram de: 1263,6 e 1193,5 mm em Santa Adélia e Santa Albertina, respectivamente. Por outro lado, a precipitação total acumulada nas áreas experimentais na safra 2013/2014 (primeira soqueira) foram de: 870,3 e 1083,5 mm em Santa Adélia e Santa Albertina, respectivamente.

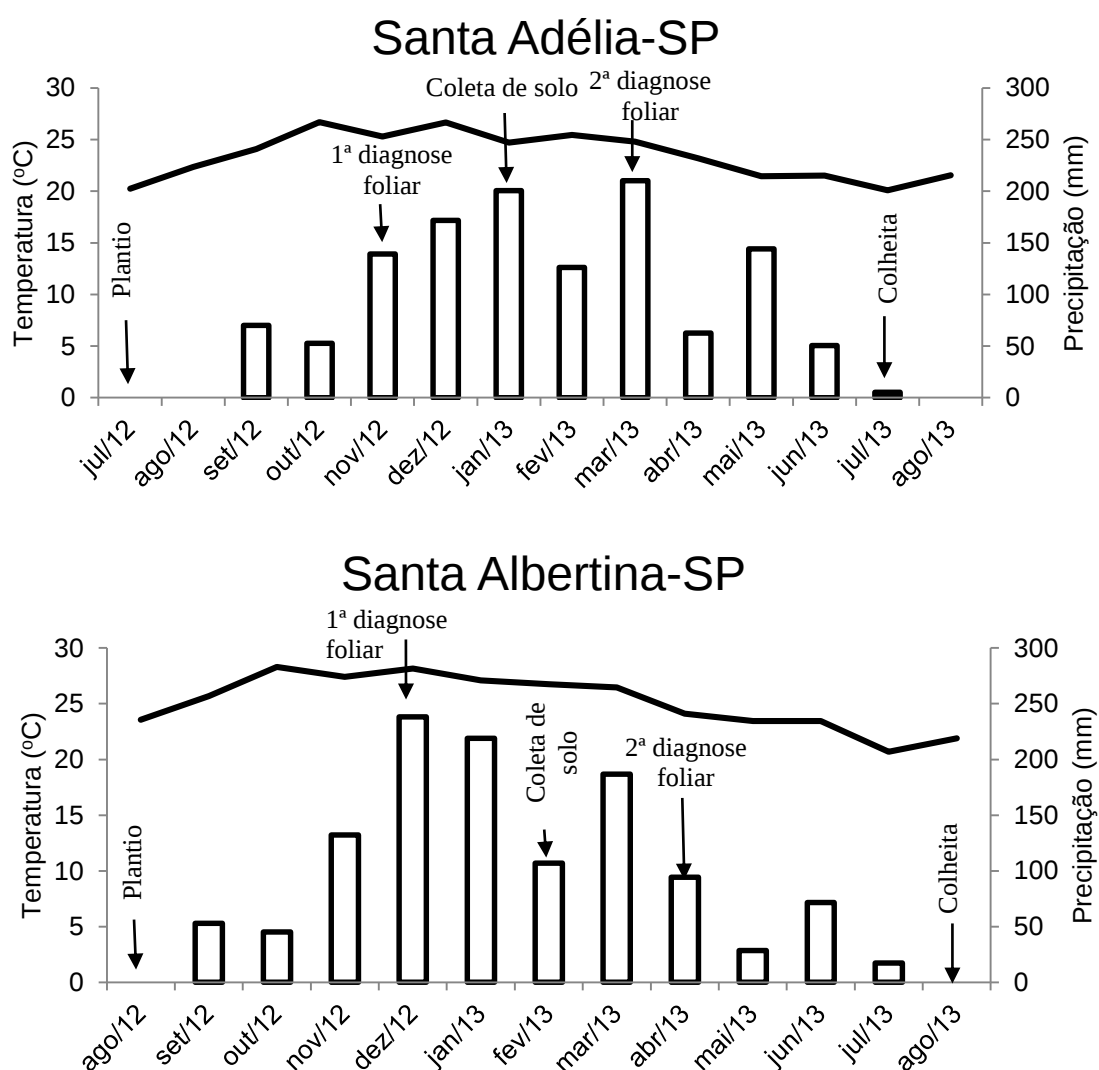


Figura 4a. Valores de precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas médias mensais durante o período de avaliação do experimento em Santa Adélia e Santa Albertina-SP, safra 2012/2013 (cana-planta).

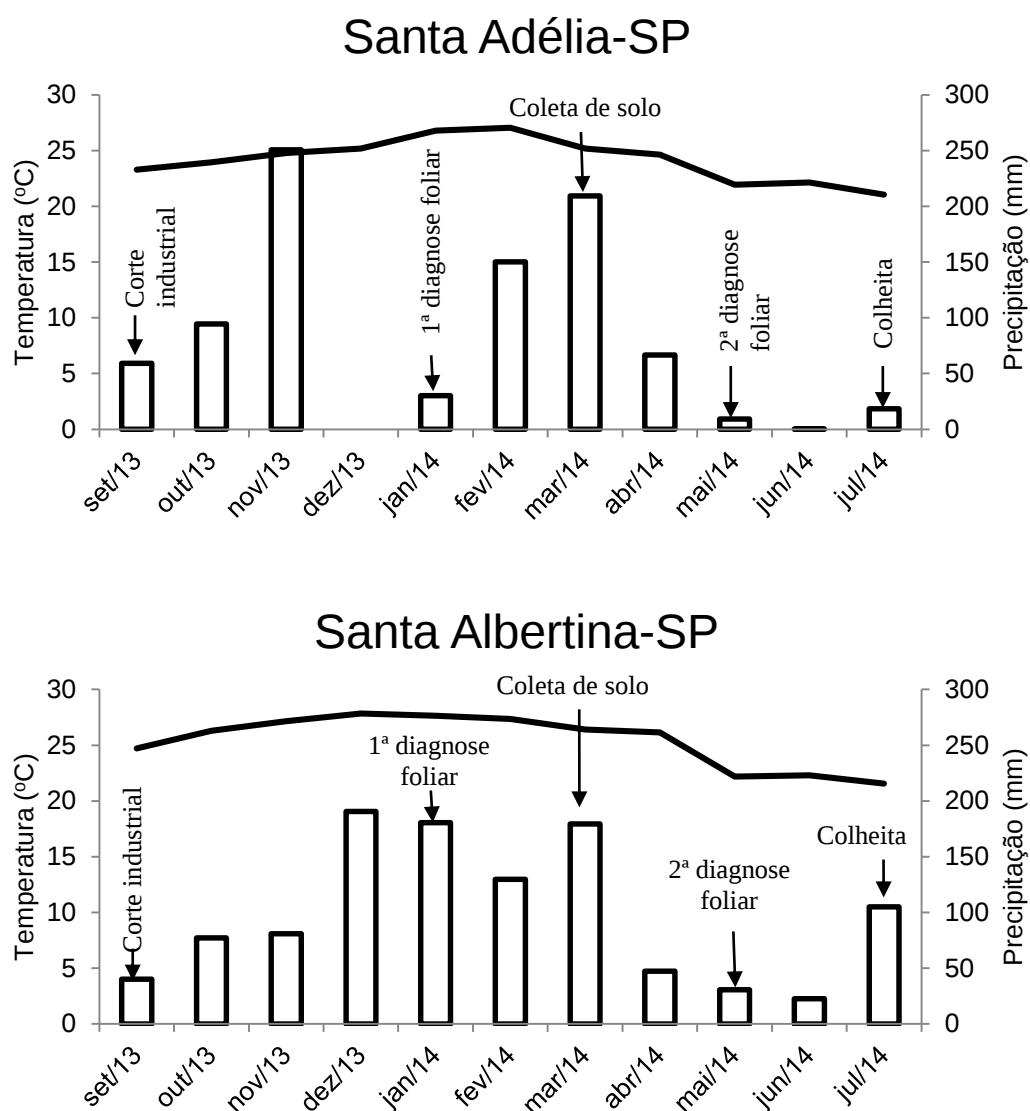


Figura 4b. Valores de precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas médias mensais durante o período de avaliação do experimento em Santa Adélia e Santa Albertina-SP, safra 2013/2014 (primeira soqueira).

5.2 Solo

Os solos onde foram instalados os experimentos foram classificados como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia) e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico - LVAd (Santa Albertina), segundo Embrapa (2013). Os atributos químicos e a granulometria (areia, silte e argila) dos

solos, foram determinados conforme metodologia proposta por Raij et al. (2001) e Embrapa (1997), respectivamente, e se encontram nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Atributos químicos e granulométricos do ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico (PVAe) onde foi instalado o experimento, Fazenda São Domingos, Usina Colombo. Santa Adélia – SP, 2012.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	M.O. g kg ⁻¹	P _(resina) mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
0 – 20	5,6	11	5	0,6	11	5	0	14	16,6	30,6	56	791,0	84,0	125,0
20 – 40	5,3	9	2	1,1	14	6	0	16	21,0	37,0	57	777,0	97,5	125,5

Tabela 3. Atributos químicos e granulométricos do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd) onde foi instalado o experimento, Usina Colombo. Santa Albertina – SP, 2012.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	M.O. g kg ⁻¹	P _(resina) mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
0 – 20	4,6	17	4	1,2	12	12	3	35	25,2	60,2	41,8	744,0	73,5	182,5
20 – 40	4,5	12	5	0,6	11	8	5	39	20	59	33	703,0	92,5	204,5

5.3 Variedade

A variedade utilizada nos dois experimentos foi a RB 855453, que possui as seguintes características: colmos eretos, de difícil tombamento, colmos medianamente empalhados, de diâmetro médio a grosso, com cor verde amarelado, mas levemente arroxeadada quando exposta ao sol, com cera, é recomendável alocá-la em ambientes favoráveis. Como destaque apresenta precocidade e riqueza em sacarose, ótimas soqueiras com colmos eretos e de excelente colheitabilidade. Trata-se da variedade precoce mais plantada e cultivada no centro sul (HOFFMANN et al., 2008).

A produtividade agrícola é alta, a colheita geralmente é feita nos meses de maio-julho, a brotação da soca é considerada ótima. O perfilhamento é considerado médio tanto na cana-planta como na soqueira. Possui bom fechamento do stand, com raros casos de tombamento. O florescimento é frequente, a exigência em ambientes de produção é alta, sendo recomendada para ambientes de produção tipo A e B (HOFFMANN et al., 2008). 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, palha no plantio

direto, do controle de ervas daninhas e pragas, mas sempre associadas às propriedades da subsuperfície dos solos e, principalmente, ao clima regional (precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar, evaporação) (PRADO, 2005).

O teor de sacarose é muito alto e o de fibra é médio, resistente às principais doenças, como carvão, ferrugem, escaldadura, mosaico e falsa estria vermelha; Porém é considerada intermediariamente resistente às estrias vermelhas (HOFFMANN et al., 2008).

5.4 Instalação e condução do experimento

No experimento em Santa Adélia a área consistia em área de reforma de cana-de-açúcar. Já em Santa Albertina onde foi instalado o experimento era área de expansão, com pastagem antecedente à cultura.

Nas duas áreas foi realizado o preparo convencional do solo, com aração e gradagem, antes do plantio. A adubação básica de plantio foi realizada de acordo com as recomendações de Spironello et al. (1997), variando apenas as doses de P e torta de filtro, segundo os tratamentos empregados. Ressalta-se que foram balanceados os tratamentos com ausência da torta com o N e o K de acordo com a quantidade que a torta fornece (considerando-se taxa de mineralização do N em 30% no primeiro ano), pois são os nutrientes que potencialmente poderiam promover maiores efeitos indiretos. Enquanto que, para o Ca e o Mg os níveis foram elevados em todo o experimento com a calagem.

Após o preparo convencional do solo, foram abertos sulcos em torno de 30 cm de profundidade, com espaçamento de 1,5 m.

Após o sulcamento, foram efetuadas as misturas dos adubos com o composto orgânico (torta de filtro), segundo o delineamento experimental, com o auxílio de betoneira. Em seguida, foi realizada a distribuição uniforme das misturas, nos cinco sulcos de cada parcela. O plantio foi de forma convencional, adotando-se o sistema de cana de ano. Na distribuição das mudas, foi utilizada a densidade média de 15 gemas por metro de sulco, por meio da distribuição de colmos “pé-com-ponta” e, em

seguida, efetuado o corte manual dos colmos, em toletes de três gemas, sendo, posteriormente, cobertos com uma camada de solo.

O plantio em Santa Adélia foi realizado em 12 de julho de 2012 e, em Santa Albertina, em 18 de agosto de 2012, ambos caracterizados como plantio de inverno.

Aos 40 dias após o plantio, foi realizada a adubação em cobertura com N, na dose 50 kg ha⁻¹, na forma de nitrato de amônio, segundo recomendação de Spironello et al. (1997).

Foram aplicados herbicidas igualmente em todos os tratamentos, listados a seguir:

- 23/07/12: Aplicação de herbicidas na área do experimento de Santa Adélia. Butiron (Tebutiron 500g L⁻¹) (1,8 L ha⁻¹), Metrimex (Ametrina 500g L⁻¹) (4,0 L ha⁻¹), Msma 720 g L⁻¹ (1,6 L ha⁻¹), óleo mineral oppa br (1,0 L ha⁻¹). Vazão: 200 L ha⁻¹.

Tebutiron, herbicida, grupo químico ureia, tipo de formulação: SC (suspensão concentrada), indicado para o controle de plantas infestantes em pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar, nos tipos cana planta ou soca. Controla um amplo espectro de plantas daninhas (17 tipos diferentes) com destaque para os capins carrapicho (*Cenchrus echinatus*), colônia (*Panicum maximum*), picão-preto (*Bidens pilosa*) e também guanxuma (*Malvastrum coromandelianum*, *Sida rhombifolia*), caruru (*Amarantus hybridus*), beldroega (*Portulaca oleracea*) e trapoeraba (*Commelina bengalensis*).

Ametrina; herbicida, grupo químico triazina, tipo de formulação: SC (suspensão concentrada), seletivo aplicado em pré e pós-emergência das plantas infestantes na cultura da cana-de-açúcar. Controla 5 tipos de monocotiledôneas: Capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), capim-colchão (*Digitaria sanguinalis*), capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e trapoeraba (*Commelina bengalensis*). Também é indicada para o controle de 6 tipos de dicotiledôneas: Corda-de-viola (*Ipomoea nil*), guanxuma (*Sida cordifolia*), caruru-de-mancha (*Amaranthus viridis*), falsa-serralha (*Emilia sonchifolia*), picão-preto (*Bidens pilosa*) e beldroega (*Portulaca oleracea*).

Msma; herbicida, grupo químico organoarsênico, tipo de formulação SL (concentrado solúvel), é um herbicida de ação de contato e de translocação, usado em pós-emergência de plantas daninhas mono e dicotiledôneas na cultura da cana-

de-açúcar. Recomendado para o controle capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e serralha (*Sonchus oleraceus*).

-28/11/12: Aplicação de herbicidas na área do experimento de Santa Albertina. Butiron (0,75 kg ha⁻¹), Flumioxazina (0,2 kg ha⁻¹).

Em Santa Albertina o controle da broca (*Diatraea saccharalis*) foi realizado através da liberação de *Cotesia flavipes* no mês de março de 2013, em seguida no dia 04 de abril de 2013 foi realizada pulverização aérea de 0,06 kg ha⁻¹ de Altacor e 1,2 kg ha⁻¹ de Ácido bórico.

O corte industrial da cana-planta foi realizado dia 09/09/2013 e 25/09/2013 em Santa Adélia e Santa Albertina, respectivamente. Em seguida procedeu-se a adubação na soqueira nas doses de 100 kg ha⁻¹ de N e 80 kg ha⁻¹ de K₂O nas duas áreas, de acordo com recomendação de Spironello et al. (1997).

5.5 Delineamento experimental

Foi adotado o delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3x4x2, sendo três fontes de P [superfosfato triplo (41% solúvel em ácido cítrico a 2%), fosfato natural reativo Gafsa (14% solúvel em ácido cítrico a 2%) e, fosfato de rocha (Araxá) (4% solúvel em ácido cítrico a 2%)], quatro doses de P₂O₅ (0, 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2%), na ausência e na presença de zero e 7,5 t ha⁻¹ de torta de filtro em base seca, com três repetições. As parcelas foram constituídas de cinco linhas, com 8 m de comprimento, distanciadas 1,5 m entre si. Como área útil de cada parcela, foram utilizadas as três linhas centrais, desconsiderando-se 1m em cada extremidade.

De acordo com Rajj (2011) as especificações dos fertilizantes empregados neste experimento é a seguinte: superfosfato triplo – 41% de P₂O₅ e 10% de Ca (fósforo determinado como P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 36% em água); fosfato natural reativo Gafsa – 27% de P₂O₅ total e 28% de Ca (fósforo determinado como P₂O₅ total e mínimo de 30% do teor total solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100); fosfato de rocha Araxá – 24% de P₂O₅ total

e 20% de Ca (fósforo determinado como P_2O_5 total e mínimo de 4% solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100).

O composto orgânico utilizado foi a torta de filtro, e a análise química desse material é encontrada na Tabela 4, de acordo com metodologia proposta por Abreu et al. (2009), tratando-se como fertilizante orgânico.

Tabela 4. Composição mineral da matéria seca da torta de filtro aplicada nos dois ensaios. Santa Adélia e Santa Albertina, 2012 (ABREU et al., 2009).

Município	Umidade	N	P_2O_5 total	K_2O total	M.O.	Ca	Mg
	%	g kg ⁻¹					
Santa Adélia	69,7	2,22	1,86	0,70	74,8	2,34	0,66
Santa Albertina	73,6	2,39	2,30	0,65	75,2	2,29	0,61

De acordo com a tabela acima é possível calcular a quantidade de P_2O_5 fornecida pela torta de filtro, sendo de 13,95 e 17,25 kg ha⁻¹, em Santa Adélia e Santa Albertina, respectivamente.

5.6 Parâmetros avaliados

5.6.1 Crescimento

Para as avaliações de crescimento e desenvolvimento, foi considerado o número de perfilhos em 1 metro, aos quatro e seis meses após a brotação, bem como a altura (nível do solo até base da folha+1) e o diâmetro do colmo aferido a 4 cm do colo da planta com paquímetro digital, obtidos em 10 plantas da área útil da parcela.

5.6.2 Diagnose foliar

Para avaliar o estado nutricional das plantas, foi feita a amostragem de folha+1, em pleno desenvolvimento da cultura (aos 8 meses após a brotação), conforme indicação de Raij et al. (1997) e, também, aos 4 meses após a brotação da

cultura, conforme indica Malavolta (1992). Foram coletadas 15 folhas por parcela, excluindo-se a nervura central. As folhas foram lavadas, secas em estufa (65°C), moídas em moinho e as determinações dos macronutrientes e micronutrientes no tecido vegetal seguiram a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

5.6.3 Avaliações de solo

Foi realizada uma amostragem de solo aos seis meses após a instalação dos tratamentos, na linha da cultura (faixa de adubação), nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, a partir de 9 pontos nas três linhas centrais. Foram realizadas as determinações analíticas nas amostras de solo, para a determinação do P disponível, pelos métodos resina e P-remanescente (P-rem), conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001) e por Alvarez et al. (2000), respectivamente.

5.6.4 Avaliação nutricional alternativa (bioquímica)

Foi realizada na folha+1, no estágio de maior desenvolvimento da cultura (240 DAP), avaliação nutricional alternativa (a bioquímica), determinando-se a atividade da fosfatase ácida. Foram coletadas 15 folhas por parcela, excluindo-se a nervura central, em seguida, estas foram congeladas em nitrogênio líquido, objetivando-se paralisar as reações químicas e metabólicas no tecido vegetal.

Em laboratório foram obtidos os extratos enzimáticos. Após o descongelamento, as folhas foram homogeneizadas em homogeneizador tipo Turrax marca OMNI modelo GLH-2511, em tampão acetato 100mM, pH 5,5, na proporção de 1 grama de tecido para 10 mL de tampão. O homogeneizado foi centrifugado a 10.000 g por 10 minutos a 4°C. Em seguida, o sobrenadante foi aliquoteado, congelado em nitrogênio líquido e armazenado a -70°C. Posteriormente, os mesmos foram utilizados para a determinação das atividades enzimáticas e da concentração de proteína presente no extrato.

Determinação da atividade p-nitrofenilfosfatásica da fosfatase ácida

A atividade PNFFásica (p-nitrofenilfosfatásica) da enzima fosfatase ácida foi determinada através da liberação do íon p-nitrofenolato ($\epsilon = 17600 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$, pH 13) de acordo com método descrito por Pizauro et al. (1988).

O meio de reação era constituído por p-nitrofenilfosfato 1 mM e tampão acetato 100mM, pH 5,5, em um volume final de 1mL. A reação foi iniciada pela adição de 50 μL de extrato enzimático ao meio de reação a 37 °C, e interrompida pela adição de 1 mL de NaOH 1 M. Após mistura por agitação, a absorbância foi determinada por espectrofotometria a 410nm em espectrofotômetro, da marca Hitachi®, modelo U-2000.

As determinações foram realizadas em triplicatas e as velocidades iniciais permaneceram constantes durante o tempo de incubação, assegurando-se hidrólise de substrato sempre inferior a 5%. Em cada tratamento foram incluídos controles sem a reação enzimática para se estimar a hidrólise não enzimática do substrato.

Uma unidade de atividade enzimática foi definida e expressa como a quantidade de enzima que libera 1 nmol de p-nitrofenolato por minuto por miligrama de proteína presente no extrato, nas condições de ensaio.

Dosagem de proteína

A concentração de proteína foi determinada pelo uso do kit de dosagem de proteína por fluorescência no aparelho Qubit™ fluorometer marca Invitrogen™, seguindo as especificações do protocolo fornecido pelo fabricante e utilizando soroalbumina bovina como padrão.

5.6.5 Produção de colmos e palhada e acúmulo de P

Aos doze meses, após a brotação da cana-de-açúcar, foi realizada a colheita das plantas da área útil das unidades experimentais, para avaliação do número de colmos industrializáveis por metro e produção de colmos e palhada. Dois metros

lineares de cana-de-açúcar foram coletados nas três linhas centrais em cada parcela. Em seguida a palha + ponteiros e colmos foram pesados separadamente com o auxílio de uma balança eletrônica.

Após a pesagem do material fresco, uma porção de aproximadamente 400 g de cada fração foi seca em estufa (65°C). As determinações de P no tecido vegetal seguiram a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983). A quantidade de P acumulada pela planta foi calculada em função das concentrações do nutriente na parte aérea (folhas e colmos) e a produção de biomassa.

5.6.6 Análise tecnológica

Foi feita amostragem de dez colmos contíguos das linhas centrais da parcela para a avaliação da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. A análise tecnológica foi realizada avaliando o teor de sacarose (Pol% cana), fibra, pureza e concentração de sólidos solúveis determinados segundo o método descrito em Consecana (2006). Com os resultados obtidos pela análise tecnológica, foi calculado o ATR, ou açúcar teórico recuperável (kg t^{-1}), conforme metodologia da Consecana (2006).

5.7 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F. Para os efeitos significativos, foi aplicado o teste de comparação de médias, o Tukey ($p \leq 0,05$) para fonte de variação qualitativa e análise de regressão polinomial para fonte de variação quantitativa, utilizando o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2011). Realizou-se testes de correlações lineares simples entre as variáveis, utilizando o programa estatístico Assistat, versão 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Safra 2012/2013 (cana-planta)

6.1.1 Crescimento/Desenvolvimento

6.1.1.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

Os dados referentes às avaliações de crescimento da cana-de-açúcar aos 120 e 180 dias após o plantio (DAP) são apresentados na Tabela 5. Houve efeito da interação das fontes de fósforo com a presença ou ausência da torta de filtro, sobre o diâmetro dos perfilhos aos 120 DAP (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de diâmetro (D), altura (A) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar, variedade RB 855453, aos 120 e 180 DAP, plantada com fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, no município de Santa Adélia-SP, 2012/2013.

Fontes de P (F)	120 DAP			180 DAP		
	D (cm)	A (cm)	NP	D (cm)	A (cm)	NP
Superfosfato Triplo	1,59	40,3	32	3,18	159,1 a	28
Fosfato de Gafsa	1,62	40,2	31	3,16	153,0 b	27
Fosfato de Araxá	1,60	40,7	33	3,18	154,3 ab	26
Valor F	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,06 ^{ns}	3,72*	2,62 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	1,70	38,9	29	3,16	155,0	27
90	1,52	40,8	33	3,16	153,2	27
180	1,51	41,3	34	3,18	157,1	28
360	1,69	40,6	32	3,19	156,6	27
Valor F	3,16*	0,89 ^{ns}	2,64 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	1,56	43,1 a	33	3,14	156,6	27
Sem	1,64	37,7 b	31	3,20	154,4	27
Valor F	1,82 ^{ns}	23,89**	2,33 ^{ns}	2,05 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Interações						
Int F x D	0,74 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Int F x T	3,55*	0,33 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,14 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Int D x T	2,02 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,52 ^{ns}
Int F x D x T	0,55 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,29 ^{ns}
CV (%)	15,9	11,5	16,5	4,9	5,3	11,2

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

A presença da torta de filtro resultou em menor diâmetro de perfilhos ao se utilizar o SFT em relação a sua ausência (Figura 5). Nas demais fontes a torta não

apresentou diferenças. Não houve efeito entre as fontes de P, tanto na presença quanto na ausência de torta. Este fato está relacionado à altura das plantas, uma vez que quando empregada a torta de filtro as plantas foram mais altas, e quando não aplicado foram mais baixas (Tabela 5). Estes resultados encontrados, em relação à altura das plantas, são devidos à matéria orgânica da torta de filtro possuir importante papel na melhoria da fertilidade do solo e nas suas propriedades físicas. Segundo Alleoni e Beauclair (1995), a matéria orgânica presente na torta de filtro eleva a capacidade de retenção de água, devido ao fato de ser higroscópica, chegando a reter água em até seis vezes o seu próprio peso.

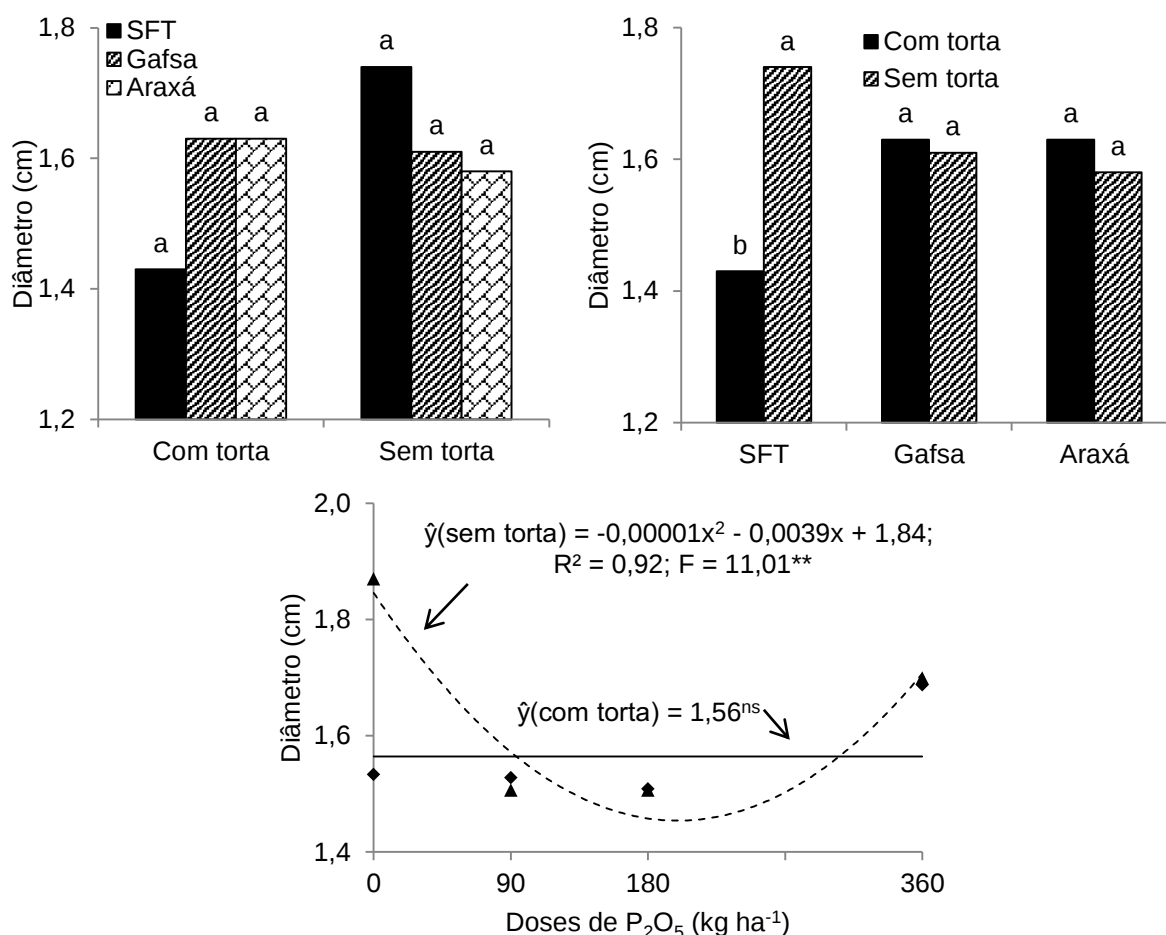


Figura 5. Diâmetro da cana-de-açúcar em função da fonte de P e torta de filtro e em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 120 DAP em Santa Adélia-SP, 2012. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A torta de filtro também promove a redução da densidade aparente e o aumento da porosidade total do solo, formando agregados capazes de reduzir a erosão do solo; aumenta a capacidade de troca catiônica, tendo atividade superior às argilas. Aumenta, também, os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre, a partir da decomposição e da mineralização da matéria orgânica, e promove a redução da fixação do fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio, bloqueando os sítios de adsorção com os radicais orgânicos (ALLEONI; BEAUCLAIR, 1995).

As doses de fósforo influenciaram o diâmetro dos perfilhos da cana-de-açúcar 120 DAP em Santa Adélia. A literatura cita trabalhos em cultivos em casa de vegetação com culturas perenes que responderam positivamente à aplicação de doses de fósforo, como é o caso de Schumacher et al. (2003) que obtiveram ajuste quadrático no diâmetro de uma espécie florestal (*Peltophorum dubium* S.) submetida a diversas doses de fósforo, obtendo maior valor quando aplicado 360 mg kg⁻¹ de P₂O₅.

Entre as variáveis estudadas em análise de crescimento, o diâmetro do colmo é a que apresenta menor variação, já que depende das características genéticas da variedade, do número de perfilhos, do espaçamento utilizado, da área foliar e das condições ambientais (OLIVEIRA et al., 2011). De acordo com Cesnik e Miocque (2004), todos os colmos podem ser considerados médios entre 2 e 3 cm, mostrando que esta variável é pouco influenciada pelo meio, constituindo-se numa característica intrínseca de cada cultivar, com a sua taxa de crescimento aumentando até atingir o seu máximo e, em seguida, há uma diminuição progressiva até o ciclo vegetativo se completar.

Neste sentido, Caione et al. (2011a) não observaram diferenças nos diâmetros da cana submetida à diferentes fontes de P (farinha de ossos, fosfato de Arad e SFT) aos oito meses de cultivo da cultura. No presente estudo, as diferentes fontes de fósforo empregadas apresentaram diferenças na altura das plantas 180 DAP, onde o superfosfato triplo apresentou plantas mais altas que o fosfato de Gafsa (Tabela 5). Caione et al. (2011b) demonstraram que as doses de P₂O₅ (0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹) aplicadas a lanço na forma de fosfato de Arad não diferiram entre si em relação à altura da cana-de-açúcar aos nove meses após o plantio. Todavia, no mesmo experimento, foi verificado diferença na altura da planta com aplicação de

diferentes doses de P (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) no sulco de plantio na forma de superfosfato triplo, obtendo ajuste quadrático, atingindo a altura máxima de 140 cm na dose de 129 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Não houve efeito dos tratamentos sobre o número de perfilhos (Tabela 5), assim como observado por Santos et al. (2009) com mais de nove fontes de fósforo. Segundo Mesquita e Neres (2008) o perfilhamento está relacionado com a maior disponibilidade de nutrientes, que proporciona maior rapidez na formação das gemas axilares e na iniciação dos perfilhos correspondentes; porém, quando o índice de área foliar atinge valores críticos, reduz a quantidade de luz que atinge as gemas axilares e a iniciação dos perfilhos, reduzindo também o perfilhamento.

6.1.1.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico- LVAd (Santa Albertina)

O diâmetro, altura e número de perfilhos aos 120 DAP da cana foram maiores quando se aplicou torta de filtro (Tabela 6), não havendo efeito dos demais fatores e nem das interações. Já aos 180 DAP houve interação entre as variáveis doses de P e torta de filtro para altura das plantas e número de perfilhos (Figura 6).

Tabela 6. Valores médios de diâmetro (D), altura (A) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 e 180 DAP, no município de Santa Albertina-SP, 2012/2013.

Fontes de P (F)	120 DAP			180 DAP		
	D (cm)	A (cm)	NP	D (cm)	A (cm)	NP
Superfosfato Triplo	2,64	60,5	22	2,95	164,2	17
Fosfato de Gafsa	2,61	59,9	21	2,95	158,4	17
Fosfato de Araxá	2,60	61,6	20	2,95	162,4	17
Valor F	0,20 ^{ns}	0,28 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	2,56	59,2	19	2,89	156,3	17
90	2,63	61,9	21	3,00	164,8	18
180	2,61	60,6	21	2,95	163,8	18
360	2,67	60,9	22	2,96	161,7	17
Valor F	0,65 ^{ns}	0,35 ^{ns}	2,47 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,79 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	2,69a	65,3a	23a	2,97	167,6a	18a
Sem	2,55b	56,0b	19b	2,93	155,7b	16b
Valor F	6,58*	25,44**	26,70**	0,87 ^{ns}	11,66**	10,64**
Interações						
Int F x D	0,49 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,20 ^{ns}
Int F x T	0,08 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Int D x T	0,88 ^{ns}	1,62 ^{ns}	2,44 ^{ns}	1,97 ^{ns}	3,39**	5,59**
Int F x D x T	0,86 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,41 ^{ns}
CV (%)	8,8	13,0	15,2	5,3	9,1	10,7

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Na ausência de P (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅), a presença de torta de filtro resultou em maior altura do que na ausência do composto (Figura 6A). Entretanto quando aplicado o P não houve diferença entre a altura das plantas. No entanto, na ausência do composto houve aumento quadrático da altura com o aumento das doses de P, atingindo a maior altura (164,5 cm) na dose de 221,5 kg ha⁻¹ (Figura 6B). Na presença da torta não houve efeito significativo das doses de P.

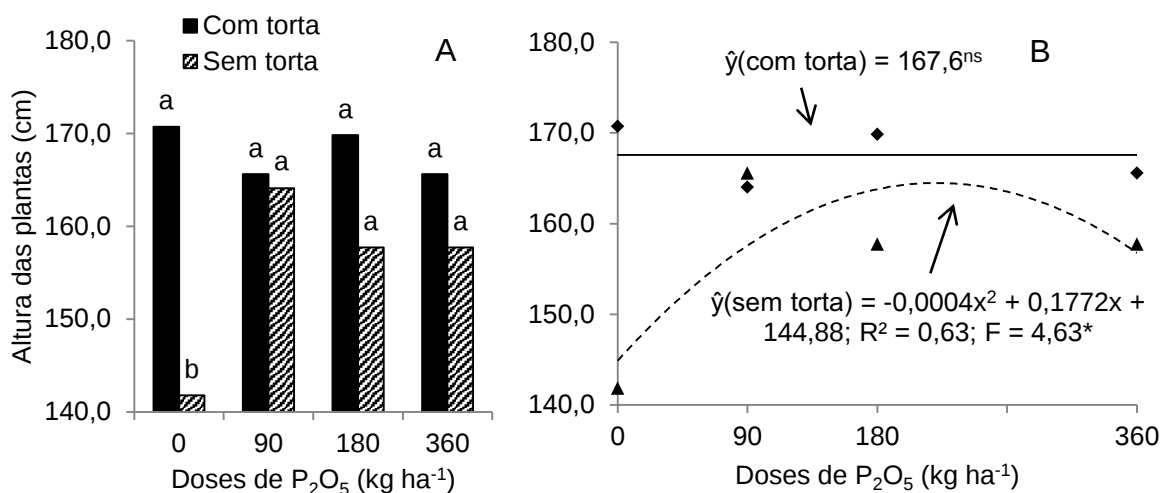


Figura 6. Altura das plantas de cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 180 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Sem a aplicação de P (controle) o número de perfilhos foi maior na presença de torta de filtro (Figura 7A). No entanto, quando aplicado P (nas demais doses) não houve diferenças entre a presença ou ausência de composto. Na ausência da torta foi verificado aumento quadrático no número de perfilhos a medida que aumentou-se as doses de P no solo, com maior número de perfilhos (18,3) relativo à dose de 235,8 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Figura 7B). Entretanto, na presença de torta não houve efeito significativo das doses de P.

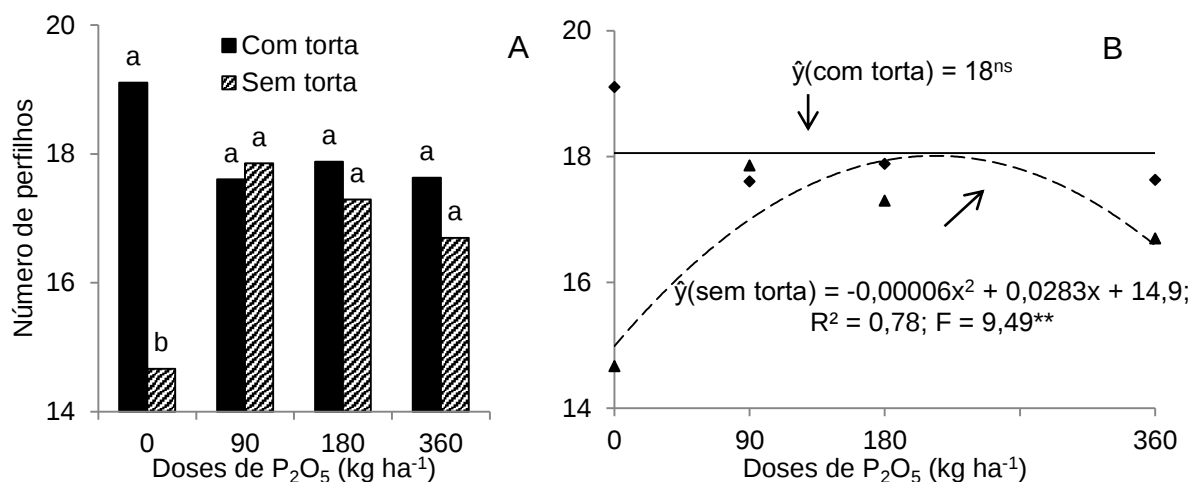


Figura 7. Número de perfilhos de cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 180 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Neste sentido, Caione (2013) verificou incremento quadrático na altura da cana-planta na ausência de torta de filtro. Por outro lado, na presença da torta não foi constatado ajuste significativo com a elevação das doses de P avaliada aos seis meses após a brotação em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, apresentando, desta forma, resultados semelhantes à este experimento.

Assim, pode-se inferir que as variáveis de crescimento em função das doses de P e, na presença da torta apresentaram melhores resultados. Desta forma, aumentos nas variáveis de crescimento em função de doses de P foram relatados por diversos autores (SHANKARAIAH et al., 2000; EL-TILIB et al., 2004; CAIONE et al., 2011b). Em avaliações feitas em épocas diferentes, Santos et al. (2009) relataram que a altura de plantas só foi alterada pelas fontes de P aos dez meses após a brotação e o perfilhamento máximo ocorreu até o quarto mês, havendo redução, posteriormente, devido à competição. A associação de doses de P com torta de filtro culminou em aumento no perfilhamento da cana-de-açúcar (variedade RB 867515) cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SANTOS et al., 2010), sendo semelhantes aos resultados deste trabalho.

6.1.2 Efeitos nos atributos químicos do solo

6.1.2.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

Os teores de P resina na profundidade de 0-20 cm foram influenciados pelas doses de P (Figura 8A). Na camada de 20-40 cm houve interação entre doses e torta (Figura 8B e 8C). Por outro lado, o pH e o teor de M.O. foram influenciados pela torta nas duas profundidades estudadas, havendo maiores valores com torta. Ainda, na ausência de torta houve redução no teor de M.O. com o aumento das doses de P na camada de 0-20 cm (Figura 9). Não houve diferença entre as variáveis para o teor de P remanescente no solo (Tabela 8).

Tabela 8. Atributos químicos do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico cultivado com cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 180 DAP, no município de Santa Adélia-SP, 2013.

	Presina (mg dm ⁻³)		pH CaCl ₂		M.O. (g dm ⁻³)		Prem (mg dm ⁻³)	
Fontes de P (F)	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
SFT	39,5	41,3	5,3	5,2	14,8	12,4	26,0	24,4
Gafsa	40,8	38,9	5,4	5,2	14,4	12,6	26,1	23,9
Araxá	36,3	37,3	5,3	5,2	13,6	12,9	25,6	23,9
Valor F	1,83 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,39 ^{ns}	1,79 ^{ns}	2,87 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Doses P ₂ O ₅ (D)								
0	30,8	18,7	5,4	5,2	15,5	12,7	25,4	23,5
90	40,6	41,9	5,3	5,2	13,6	13,1	26,7	24,0
180	39,3	46,1	5,3	5,2	14,3	12,5	25,8	24,3
360	44,7	50,1	5,3	5,2	13,7	12,2	25,9	24,5
Valor F	8,65**	29,79**	0,15 ^{ns}	0,67 ^{ns}	4,68**	1,84 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,95 ^{ns}
Torta de filtro (T)								
Com	39,8	42,3a	5,4a	5,4a	14,8a	13,0a	25,8	24,3
Sem	37,9	36,1b	5,2b	5,0b	13,7b	12,2b	26,1	23,9
Valor F	0,97 ^{ns}	5,81*	8,19**	153,85**	6,75*	9,86**	0,44 ^{ns}	0,97 ^{ns}
Interações								
Int F x D	1,85 ^{ns}	2,12 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,55 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Int F x T	0,45 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,07 ^{ns}	2,19 ^{ns}	1,55 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Int D x T	1,71 ^{ns}	10,34**	1,12 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,35 ^{ns}	2,09 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Int F x D x T	0,28 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,72 ^{ns}
CV (%)	21,6	27,9	4,3	2,9	12,1	9,2	7,6	7,8

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Não houve interação entre as doses de P e a torta de filtro sobre o teor de P resina na profundidade de 0-20 cm (Tabela 8); entretanto, foi verificado aumento linear do teor de P no solo na ausência de torta (Figura 8A), enquanto que na

presença da torta não houve efeito significativo para o teor de P no solo, entretanto os teores de P na solução do solo na profundidade mencionada até próximo da dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ estão dentro da faixa considerada média por Raij et al. (1997) (16 a 40 mg dm⁻³).

Na profundidade de 20-40 cm a presença de torta aumentou os teores de P no solo até a dose 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Na dose de 180 kg ha⁻¹ o maior teor foi no tratamento sem torta, e na dose mais alta não houve diferença entre a ausência ou presença da torta (Figura 8B). Houve ajuste linear para o teor de P no solo na presença de torta de filtro em função das doses de P, no entanto, sem torta os teores de P no solo aumentaram sob ajuste quadrático em função das doses de P (Figura 8C).

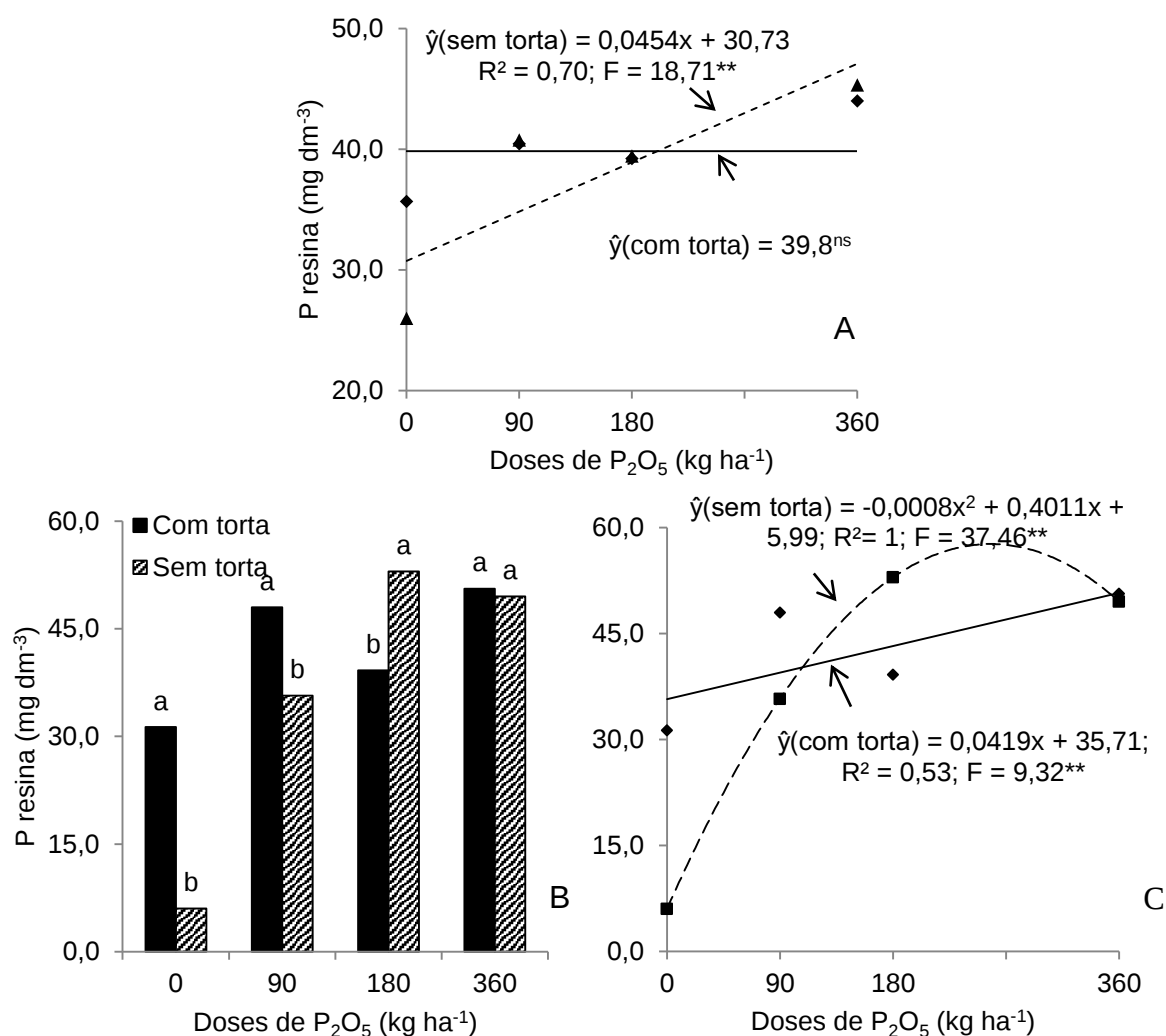


Figura 8. P resina na profundidade de 0-20 e 20-40 cm (A; B e C, respectivamente) em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 180 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na profundidade de 0-20 cm, apesar de não ocorrer interação entre as doses de P e torta de filtro para o teor de matéria orgânica, foi verificado que na ausência da torta de filtro o teor de M.O. decresceu à medida que aumentaram as doses de P aplicadas ao solo. Por outro lado, na presença da torta não houve efeito significativo das doses no teor de matéria orgânica no solo (Figura 9).

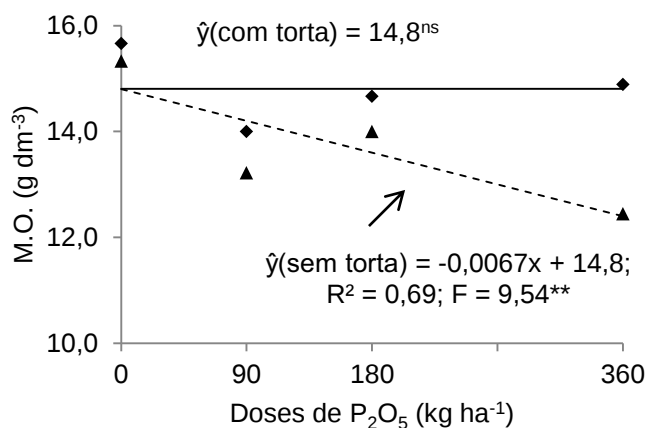


Figura 9. Matéria orgânica na profundidade de 0-20 cm em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 180 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.1.2.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

O tipo de fertilizante aplicado promoveu diferentes teores de M.O. na profundidade de 0-20 cm sendo que o maior teor de M.O. foi relativo ao uso do fosfato de Gafsa, que diferiu do Superfosfato triplo. As doses de P provocaram alterações no teor de P resina (0-20 e 20-40 cm) e M.O. (20-40 cm). A aplicação de torta de filtro promoveu aumento do teor de P resina na camada mais superficial do solo (Tabela 9).

Tabela 9. Atributos químicos do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 180 DAP, no município de Santa Albertina-SP, 2013.

	Presina (mg dm ⁻³)		pH CaCl ₂		M.O. (g dm ⁻³)		Prem (mg dm ⁻³)	
Fontes de P (F)	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
SFT	57,4	35,8	4,7	4,9	19,2b	17,3	24,3b	23,1
Gafsa	55,5	43,1	5,0	5,1	23,4a	17,9	26,4a	24,0
Araxá	53,9	30,7	4,8	4,8	20,2ab	18,1	25,6a	23,8
Valor F	0,17 ^{ns}	2,24 ^{ns}	2,24 ^{ns}	3,08 ^{ns}	3,31*	0,45 ^{ns}	8,11**	1,01 ^{ns}
Doses P ₂ O ₅ (D)								
0	26,8	13,2	4,8	4,8	20,3	16,1	27,5	24,5
90	57,4	35,3	4,7	4,8	21,8	19,2	24,3	23,0
180	61,4	43,9	4,9	5,0	19,7	18,8	25,1	23,8
360	76,8	53,8	4,9	5,0	22,1	17,0	24,8	23,1
Valor F	18,43**	12,83**	0,99 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,71 ^{ns}	4,05*	0,78 ^{ns}	1,88 ^{ns}
Torta de filtro (T)								
Com	66,3a	38,9	4,9	4,8b	21,4	17,6	26,2a	23,6
Sem	44,9b	34,1	4,7	5,0a	20,6	18,0	24,6b	23,6
Valor F	19,16**	0,99 ^{ns}	2,19 ^{ns}	5,19*	0,32 ^{ns}	0,26 ^{ns}	13,45**	0,00 ^{ns}
Interações								
Int F x D	0,75 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,17 ^{ns}	7,68**	0,79 ^{ns}
Int F x T	1,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,28 ^{ns}	2,22 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Int D x T	2,59 ^{ns}	1,46 ^{ns}	1,77 ^{ns}	2,42 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,57 ^{ns}	1,63 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Int F x D x T	0,52 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,21 ^{ns}
CV (%)	37,2	56,1	9,6	8,2	27,9	16,8	7,3	9,3

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

No entanto, no estudo da regressão polinomial para as doses de P, a presença do composto apresentou um ajuste linear crescente no teor de P resina, na camada de 0-20 cm, atingindo o maior teor de P na maior dose empregada. Por outro lado, na ausência de torta de filtro foi verificado aumento quadrático, sendo

que a curva se manteve abaixo da reta representada pela presença da torta (Figura 10A).

Na camada de 20-40 cm de profundidade houve aumento com ajuste linear dos teores de P no solo tanto na ausência quanto na presença de torta de filtro (Figura 10B).

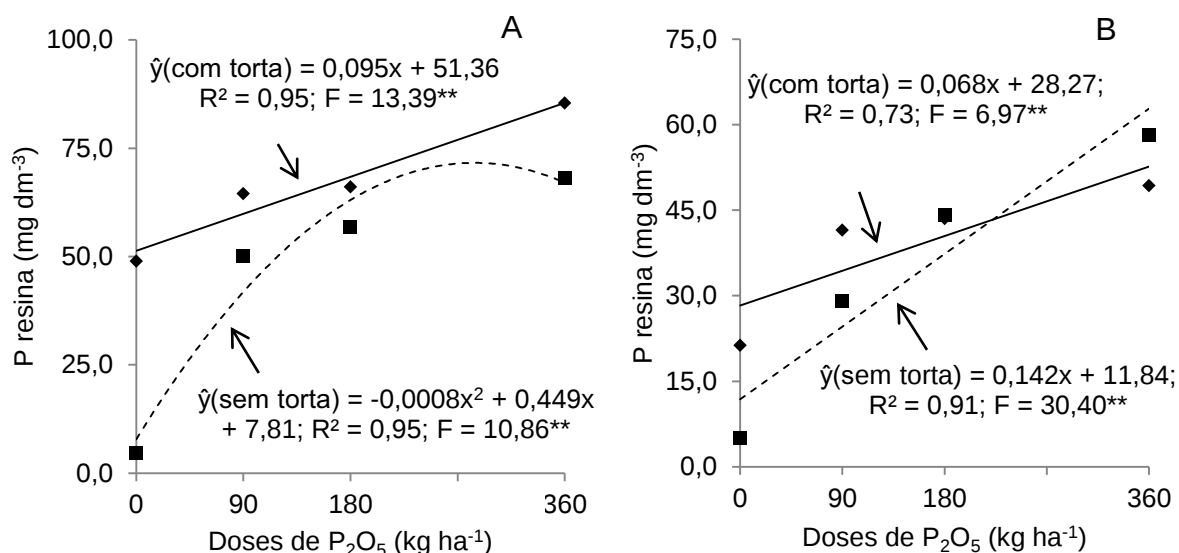


Figura 10. P resina na profundidade de 0-20 e 20-40 cm (A e B; respectivamente) em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 180 DAP em Santa Albertina-SP, 2013.

A aplicação de doses de P, na presença da torta de filtro, resultou em maiores teores de P disponível, em ambos os solos avaliados (Figuras 8A e C e 10 A e B). A disponibilidade de P no solo é influenciada por vários fatores como textura do solo, teor e tipo de argila, matéria orgânica do solo, dentre outros. Neste sentido, alguns autores atribuem o aumento da disponibilidade de P no solo à aplicação de P associado a um produto orgânico (GICHANGI; MNKENI; BROOKES, 2009; SANTOS et al., 2009; TAKEDA et al., 2009; KREY et al., 2013).

Nos experimentos em Santa Adélia e Santa Albertina, o aumento no P disponível com a aplicação da torta de filtro pode também ser atribuído ao fornecimento de P pela torta, pois contêm 1,86 e 2,30 g kg⁻¹ de P_2O_5 total. O mesmo efeito também foi relatado por Elsayed et al. (2008) que, avaliando a aplicação de torta de filtro (100 t ha⁻¹ em base seca) em um Vertissolo, verificaram incremento no teor de P no solo de 14 para 94 mg kg⁻¹. Em outro trabalho, utilizando 15 t ha⁻¹ de

torta de filtro (base úmida), Shankaraiah e Murthy (2005) observaram aumento na fertilidade do solo, em relação à adubação química, sendo indicativos de maior absorção de nutrientes pela planta.

Os resultados mostraram que a adição de torta de filtro contribuiu para a redução da fixação de P no solo com o aumento da fração de P lábil. A incorporação de P na biomassa microbiana estimulada pela presença do composto orgânico pode ter também imobilizado uma grande quantidade de P que não foi convertida em frações menos lábeis e, posteriormente, poderá ser reciclado e absorvido pelas plantas (GICHANGI; MNKENI; BROOKES, 2009). A aplicação da torta de filtro compostada poderia ter aumentado a atividade de fosfatases ácidas produzidas por microrganismos no presente estudo (TAKEDA et al., 2009).

O teor de matéria orgânica na camada de 20-40 cm variou em função das doses de P empregadas. Desta forma, na presença de torta de filtro houve elevação dos teores com ajuste quadrático; no entanto, na ausência do composto a regressão não foi significativa (Figura 11).

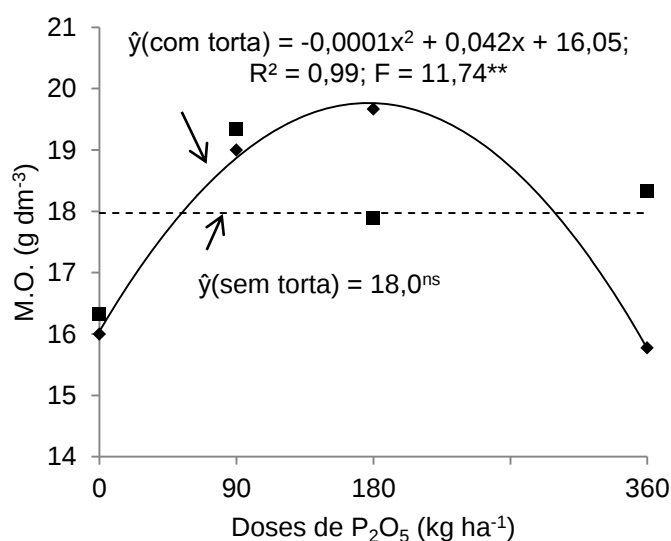


Figura 11. Matéria orgânica na profundidade de 20-40 cm, em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 180 DAP em Santa Albertina-SP, 2013.

Para o P remanescente na camada de 0-20 houve interação das fontes e doses de P (Tabela 9). No desdobramento da variável fontes dentro de cada dose verifica-se que nas maiores doses de P (180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅) o fosfato de Gafsa apresentou maior P-rem, diferindo do Superfosfato triplo. Já no

desdobramento inverso, doses de P dentro de cada fonte, verifica-se que o superfosfato triplo apresentou ajuste linear decrescente, não sendo significativo para as demais fontes de P (Figura 12) indicando que a capacidade tampão do solo ($\Delta Q/\Delta I$) foi maior na dose 0 de P, mostrando que a quantidade de P em solução (valor I) é baixa e, à medida que elevou-se as doses de P, estes valores foram menores, comprovando que a quantidade de P em solução é maior, conforme relatado por Alvarez et al. (2000).

Ainda, de acordo com Prochnow et al. (2004) a precipitação de P ocorre de forma intensa em solos tropicais, especialmente quando se trata dos fosfatos totalmente acidulados, como o ST, dada sua elevada taxa de dissolução no solo. Para estas fontes de P a granulometria influencia grandemente nos processos de adsorção e precipitação de P no solo, pois, quanto maior o contato do fertilizante com as partículas do solo e, conseqüentemente, com os pontos de adsorção e precipitação de P, maior será a intensidade de fenômenos de indisponibilização de P no solo. A aplicação na forma de grânulos diminui o volume de solo com o qual o fertilizante reage, o que resulta em menor retenção de P pelo solo. Sendo assim, em aplicações elevadas de P na forma de ST maior será a eficiência em disponibilizar o P para a solução do solo, reduzindo a relação $\Delta Q/\Delta I$, ocasionando menores valores de P remanescente.

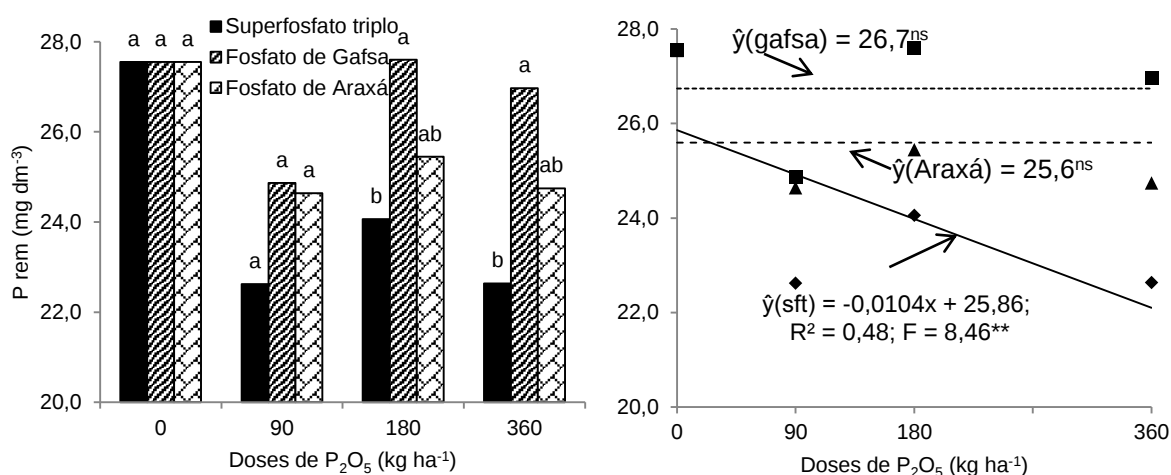


Figura 12. P remanescente na profundidade de 0-20 cm em função das fontes de P e doses de P₂O₅, 120 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.1.3 Estado nutricional da cana-de-açúcar aos 120 DAP

6.1.3.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

Os teores de macronutrientes avaliados aos 120 DAP, conforme recomendação de Malavolta et al. (1992), estão apresentados na Tabela 10. De acordo com a análise de variância verifica-se que os teores de K na folha diagnóstica diferiram em função da torta de filtro, apresentando maior teor na ausência da torta. Os teores de Ca na folha também foram alterados pelas doses de P aplicadas e pela torta de filtro. Já os teores de Mg variaram em função da interação entre fontes e doses de P e doses de P e torta de filtro (Tabela 10).

Tabela 10. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 DAP, no município de Santa Adélia-SP, 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes de P (F)	----- g kg ⁻¹ -----					
Superfosfato Triplo	19,9	1,9	8,9	3,5	1,5	2,6
Fosfato de Gafsa	20,4	1,9	8,8	3,5	1,4	2,8
Fosfato de Araxá	20,5	1,9	8,8	3,6	1,4	2,8
Valor F	2,59 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	20,3	1,8	9,1	3,3	1,4	2,6
90	20,4	1,9	8,8	3,6	1,5	2,8
180	20,1	2,0	8,6	3,6	1,5	2,9
360	20,2	2,0	8,9	3,6	1,5	2,7
Valor F	0,21 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,71 ^{ns}	3,04*	3,51*	1,12 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	20,2	2,0	8,5b	3,7a	1,6a	2,7
Sem	20,3	1,9	9,1a	3,3b	1,3b	2,8
Valor F	0,57 ^{ns}	1,42 ^{ns}	6,27*	21,92**	45,24**	0,16 ^{ns}
Interações						
Int F x D	1,29 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,60 ^{ns}	2,45*	1,77 ^{ns}
Int F x T	0,95 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Int D x T	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,63 ^{ns}	2,89*	0,76 ^{ns}
Int F x D x T	0,80 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,26 ^{ns}
CV (%)	4,6	18,9	10,4	10,1	9,5	22,7

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

As doses de P apresentaram comportamento importante no teor de Ca nas folhas de cana-de-açúcar. Quando avaliado as doses, verifica-se que a ausência de torta propiciou aumento quadrático nos teores de Ca nas folhas, enquanto que na presença não houve efeito significativo (Figura 13).

O teor de Mg na folha diagnóstica da cana-de-açúcar apresentou interação entre as variáveis doses de P e torta de filtro, sendo que em todas as doses (exceto 90 kg ha⁻¹) os tratamentos que continham torta de filtro apresentaram maior teor de Mg, comparado à ausência do composto. No entanto, avaliando-se as doses, na presença de torta de filtro houve ajuste linear crescente dos teores de Mg com o aumento das doses de P; já na ausência da torta, o ajuste dos teores de Mg foi quadrático (Figura 13).

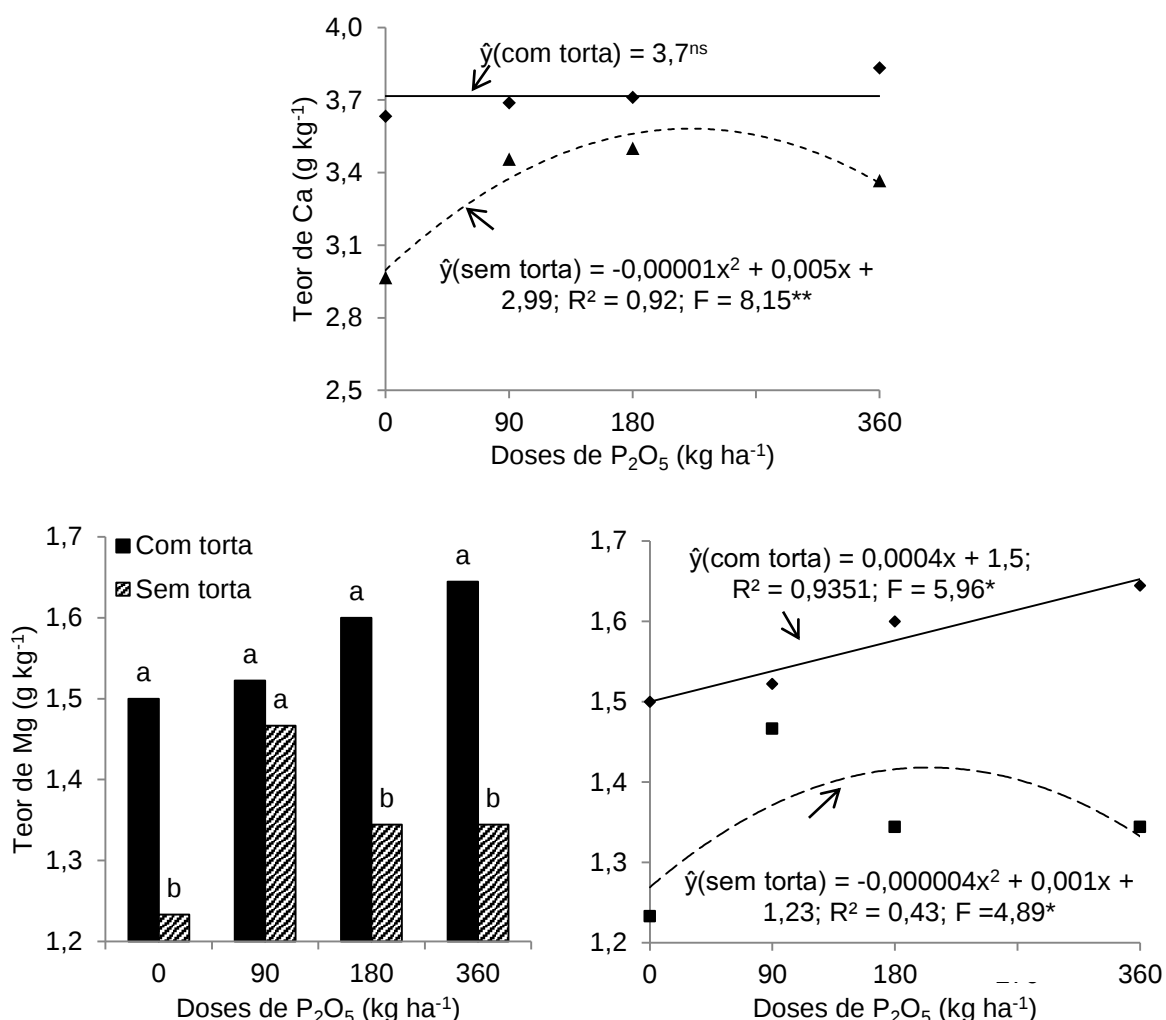


Figura 13. Teores de cálcio e magnésio nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 120 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de Mg na folha diagnóstica variou em função da fonte e das doses de P, sendo que no estudo das fontes dentro de cada dose verificou-se que houve diferenças para o teor de Mg na folha apenas na dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo o maior teor obtido com o uso do superfosfato triplo e o menor valor correspondente ao fosfato de Araxá (Figura 14A). Já para o efeito das doses dentro de cada fonte de P (Figura 14B), o superfosfato triplo melhor se ajustou ao modelo quadrático, sendo a dose que proporcionou o maior teor de Mg igual a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, atingindo o ponto de máxima de 1,6 g kg⁻¹ de Mg. Para o fosfato de Gafsa foi verificado um ajuste linear com o aumento dos teores de Mg à medida que aumentou-se a dose de P. Todavia não foi verificado efeito significativo para os teores de Mg com uso do fosfato de Araxá.

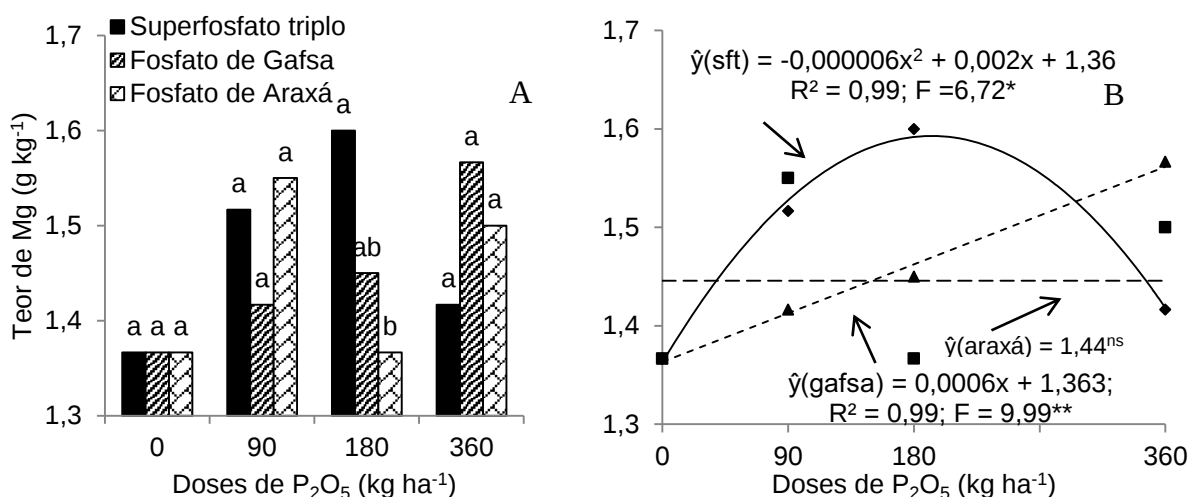


Figura 14. Teores de magnésio nas folhas de cana-de-açúcar em função das fontes de P e doses de P₂O₅, 120 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É importante salientar que de acordo com as médias dos teores dos nutrientes K, Ca e Mg, observadas nos tratamentos, os mesmos estão abaixo da faixa de suficiência descrita por Malavolta et al. (1992), (K= 11,0-13,0; Ca= 8,0-10,0; Mg= 2,0-3,0 g kg⁻¹). Os teores de N e S (N= 19,0-21,0 e S= 1,5-2,0) estão adequados, e o alvo de estudo, os teores de P, estão abaixo da faixa que indica adequado estado nutricional (2,0 a 2,4 g kg⁻¹ de P) nos fatores isolados: fontes de P (superfosfato triplo, fosfato de Gafsa e fosfato de Araxá), ausência de torta de filtro e doses 0 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Entretanto, nos fatores: doses 180 e 360 kg ha⁻¹ e na

presença de torta de filtro os teores de P encontram-se na faixa que é considerada adequada (Tabela 10).

Os dados do presente experimento estão de acordo com Malavolta (2006) em que altas doses de P podem provocar aumento na concentração de Ca e Mg. Neste sentido, há relatos na literatura que demonstram que a absorção do P é influenciada pela concentração de Mg no meio, podendo o Mg ser carregador do P para dentro da planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Esta inter-relação entre os dois íons pode ser consequência da necessidade de Mg nas reações de transferência de energia (BERGMANN, 1992).

Os teores de micronutrientes na folha diagnóstica, de acordo com a metodologia proposta por Malavolta (1992), estão apresentados na Tabela 11. De acordo com a análise de variância verifica-se que os teores de Fe e Mn variaram em função do fator isolado torta de filtro. O teor de Fe foi maior na presença da torta, enquanto que o inverso foi verificado em relação ao teor de Mn. O mesmo efeito também foi verificado por Santos (2012) e Caione (2013), sendo o último em condições similares à este estudo. O aumento no teor de Fe pode ser atribuído ao efeito do aumento da absorção de um micronutriente catiônico que pode vir a reduzir a absorção de outro, o que ocorreu para o Mn neste caso. Esses resultados devem-se às interações que acontecem entre os micronutrientes catiônicos. A redução nos teores de um ou mais micronutrientes, em função da absorção excessiva de outro, foi constatada em diversos trabalhos de pesquisa (FAGERIA, 2001; KIM; MILLS; WETZSTEIN, 2002; QADAR, 2002). Cabe ressaltar que os teores de Fe e Mn não estão dentro da faixa de suficiência indicada por Malavolta (1992), com exceção do teor de Mn na ausência de torta de filtro (Fe= 200-500 mg kg⁻¹ e Mn= 100-250 mg kg⁻¹)

Neste sentido, Zabini et al. (2007) verificaram que o fornecimento de Zn na dose 6,0 µmol L⁻¹ elevou as concentrações deste elemento nas plantas e afetou a absorção Fe, Cu e Mn; porém, não reduziu o teor radicular de Fe, Cu e Mn, indicando que a redução no teor foliar destes micronutrientes pode ser resultante da complexação na raiz ou, mais provavelmente, da inibição no transporte para a parte aérea.

Tabela 11. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 DAP, no município de Santa Adélia-SP, 2013.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fontes de P (F)	----- mg kg ⁻¹ -----				
Superfosfato Triplo	22a	6	107	92	30
Fosfato de Gafsa	21a	6	108	91	33
Fosfato de Araxá	17b	6	104	97	34
Valor F	11,79**	0,35 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,95 ^{ns}	2,65 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)					
0	20	6	108	88	31
90	21	6	100	92	31
180	20	6	106	95	32
360	20	6	111	98	35
Valor F	0,22 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,43 ^{ns}
Torta de filtro (T)					
Com	21	6	112a	80b	31
Sem	20	6	100b	107a	34
Valor F	2,41 ^{ns}	0,32 ^{ns}	7,39**	49,37**	2,38 ^{ns}
Interações					
Int F x D	0,96 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,25 ^{ns}
Int F x T	0,86 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Int D x T	1,39 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,19 ^{ns}
Int F x D x T	1,45 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,97 ^{ns}
CV (%)	18,5	35,2	17,3	17,5	20,0

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

6.1.3.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

Os teores de macronutrientes na folha diagnóstica aos 120 DAP em Santa Albertina são apresentados na Tabela 12. Para o teor de N a ausência de torta de filtro propiciou maior valor que na sua presença, porém os teores de N encontram-se na faixa adequada, conforme Malavolta (1992).

Os teores de K, Ca, Mg e S obtiveram interação entre fontes de P e doses de P, entretanto, os teores de Ca e Mg mantiveram-se abaixo da faixa adequada de teores nutricionais (MALAVOLTA,1992).

O teor de P variou em função das doses de P e da torta de filtro; apesar de não significativo o desdobramento dos efeitos dos fatores serão apresentados pois a regressão indicou efeito significativo.

Tabela 12. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 DAP, no município de Santa Albertina-SP, 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes de P (F)	----- g kg ⁻¹ -----					
Superfosfato Triplo	21,0	1,9	12,3a	8,58a	1,52a	2,13b
Fosfato de Gafsa	20,8	1,8	10,9b	2,80b	1,20b	2,03b
Fosfato de Araxá	20,4	1,9	11,2b	2,58b	1,20b	2,37a
Valor F	1,06 ^{ns}	1,09 ^{ns}	16,38**	75,92**	22,23**	12,05**
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	21,1	1,8	11,8	2,55	1,13	2,42
90	20,1	1,9	11,2	5,35	1,37	1,96
180	20,6	1,9	11,2	5,38	1,38	2,12
360	21,2	2,0	11,7	5,35	1,35	2,21
Valor F	2,27 ^{ns}	3,12*	2,53 ^{ns}	9,73**	6,72**	10,56**
Torta de filtro (T)						
Com	20,4b	2,0a	11,3	4,77	1,37a	2,08b
Sem	21,1a	1,8b	11,7	4,54	1,24b	2,27a
Valor F	5,60*	16,39**	2,32 ^{ns}	0,27 ^{ns}	8,17**	10,10**
Interações						
Int F x D	1,49 ^{ns}	0,55 ^{ns}	2,90*	8,45**	2,71*	3,33**
Int F x T	1,56 ^{ns}	2,97 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,03 ^{ns}
Int D x T	0,61 ^{ns}	2,62 ^{ns}	3,33*	1,04 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,29 ^{ns}
Int F x D x T	1,94 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,99 ^{ns}
CV (%)	6,6	10,1	7,4	41,0	14,8	11,5

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Na ausência da torta os teores de P na folha diagnóstica aumentaram com o aumento das doses de P, apresentando ajuste linear. Porém na presença da torta não houve efeito das doses no teor de P (Figura 15). É importante destacar que na ausência da torta de filtro os teores de P mativeram-se abaixo da faixa adequada de nutrientes na folha que é de 2,0-2,4 g kg⁻¹ de P (MALAVOLTA et al., 1992).

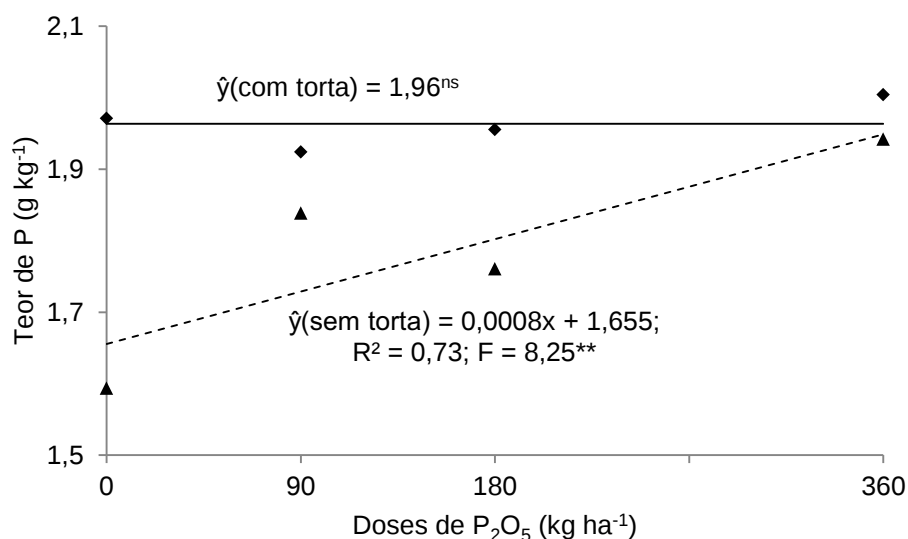


Figura 15. Teores de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar em função doses de P₂O₅ e torta de filtro, 120 DAP em Santa Albertina-SP, 2013.

Para o teor de K houve interação entre fontes e doses de P, sendo que nas doses de 90 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o superfosfato triplo resultou em maior teor de K; porém, na maior dose de P, o fosfato de Araxá não diferiu do superfosfato triplo. Já no estudo das doses dentro de cada fonte, verifica-se que o fosfato de Araxá e o Fosfato de Gafsa apresentaram comportamento semelhante em relação ao teor de K, obtendo ajuste quadrático em função do aumento das doses de P. Os teores de K não apresentam ajuste significativo quando aplicado superfosfato triplo (Figura 16).

A ausência de torta de filtro, na maior dose de P, aumentou os teores de K na folha diagnóstica da cana, entretanto na presença de torta foi verificado ajuste quadrático dos teores de K em relação ao aumento das doses de P (Figura 17). Apesar de todos os efeitos no teor de K detectados na análise de variância, é importante salientar que os teores de K na folha mantiveram-se, em sua maioria, dentro da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1992) que é de 11-13 g kg⁻¹ de K. Os resultados corroboram Malavolta (2006) que afirma que altas doses de P podem provocar redução na concentração de K nas folhas.

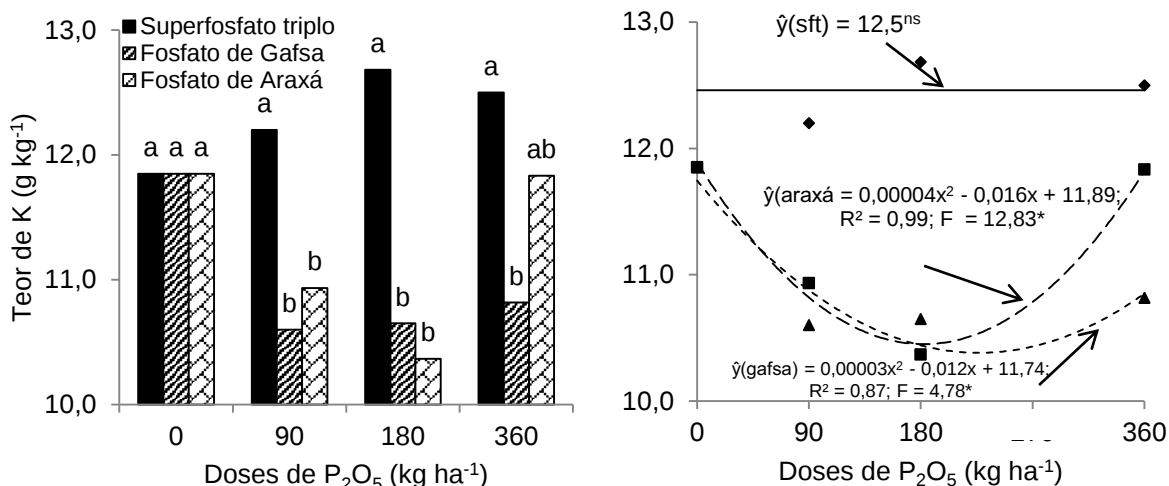


Figura 16. Teores de potássio nas folhas de cana-de-açúcar em função das fontes de P e doses de P_2O_5 , 120 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

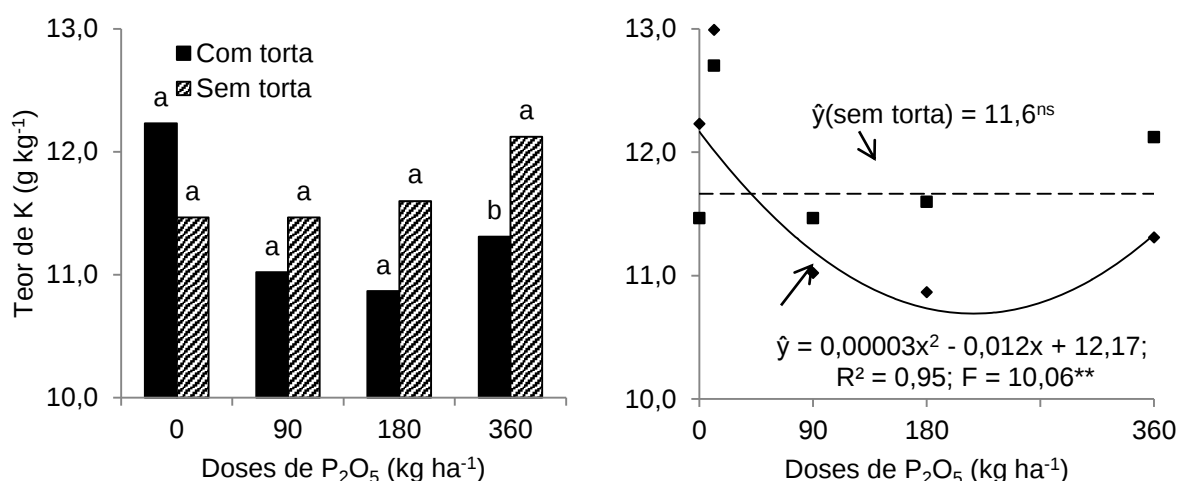


Figura 17. Teores de potássio nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 120 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de Ca apresentou interação entre fontes e doses de P. Verifica-se que nas doses 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de P_2O_5 o superfosfato triplo propiciou maiores teores de Ca. No estudo das doses dentro de cada fonte o superfosfato triplo apresentou comportamento quadrático com a elevação das doses de P. Nesse caso verifica-se que quando aplicado o fertilizante superfosfato triplo, mesmo na dose menor (90 kg ha⁻¹) o teor de Ca esteve dentro da faixa adequada de nutrientes na folha diagnóstica (8,0-10,0 g kg⁻¹ de Ca), enquanto que os demais fertilizantes proporcionaram teores abaixo desta faixa (Figura 18).

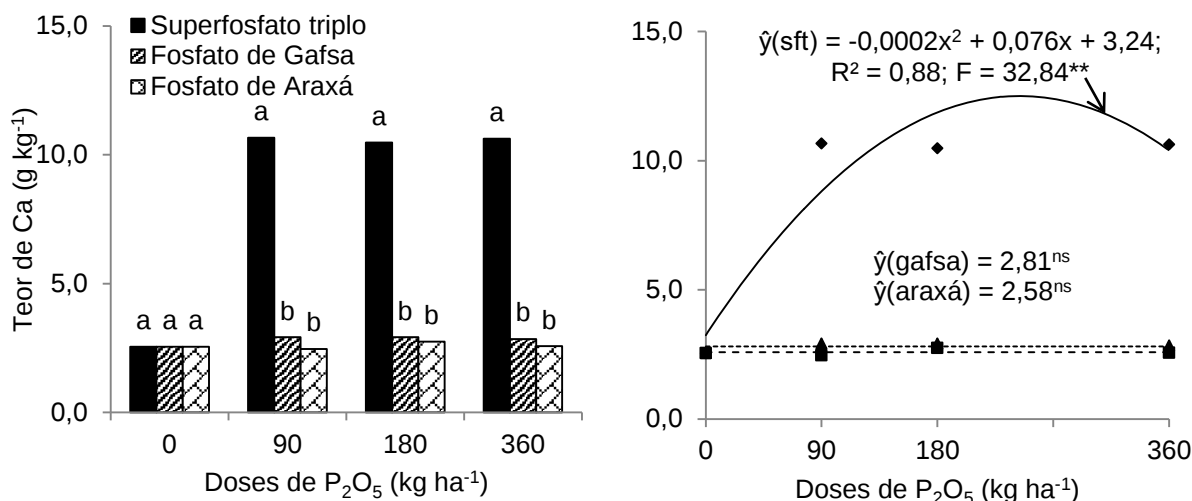


Figura 18. Teores de cálcio nas folhas de cana-de-açúcar em função das fontes de P e doses de P₂O₅, 120 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve efeito significativo das fontes e doses de P no teor de Mg na folha diagnóstica da cana. O superfosfato triplo proporcionou os maiores teores de Mg, nas doses de 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por outro lado, o superfosfato triplo, obteve ajuste quadrático com o aumento das doses de P (Figura 19).

Neste caso, os teores de Mg encontram-se todos abaixo da faixa adequada de teores de nutrientes que é de 2,0-3,0 g kg⁻¹ (MALAVOLTA et al., 1992). Interações positivas entre P e Mg são esperadas, sendo o Mg ativador de enzimas quinase ativando a maioria das reações que envolvem a transferência de fosfato (FAGERIA, 2001)

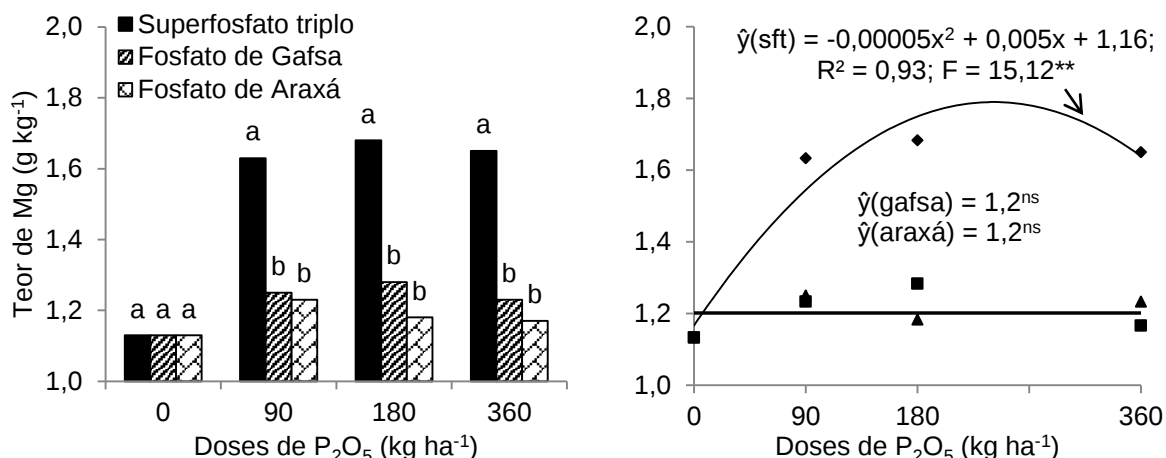


Figura 19. Teores de magnésio nas folhas de cana-de-açúcar em função das fontes de P e doses de P_2O_5 , 120 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de S apresentou interação com as variáveis fontes e doses de P. Neste sentido, foi verificado que na dose de 180 e 360 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 o fosfato de Araxá apresentou maior teor do nutriente na folha diagnóstica. O superfosfato triplo e o Gafsa apresentaram ajuste quadrático do teor de S com o aumento das doses de P, enquanto que o fosfato de Araxá apresentou ajuste linear crescente do teor de S com o aumento das doses de P (Figura 20). Neste caso na testemunha, sem P, os teores de S estavam na faixa adequada (2,0-3,0 $g\ kg^{-1}$ de S) conforme Malavolta et al. (1992), entretanto, quando aplicado P há uma redução dos teores, exceto quando presente o fosfato de Araxá.

Os teores de micronutrientes na folha diagnóstica da cana-de-açúcar são apresentados na Tabela 13. O teor de boro foi maior quando aplicado superfosfato triplo e fosfato de Gafsa. Para o teor de cobre houve interação com doses de P e torta de filtro. Os teores de ferro, manganês e zinco foram reduzidos na presença da torta. Esse fato pode estar associado com a capacidade de complexação do Mn pela M.O. (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2006) e com o aumento do pH com o uso da torta na camada de 20-40 cm (Tabela 9). Redução no teor foliar de Mn com a aplicação de torta de filtro foi observado por Santos (2012). O autor atribui este efeito ao aumento do pH do solo nas duas profundidades avaliadas (na camada de 0-20 com pH de 4,8 na ausência de torta passando para 5,1 com aplicação de 4 $t\ ha^{-1}$ de torta e na camada de 20-40 cm com pH de 4,6 sem torta para 5,0 com torta).

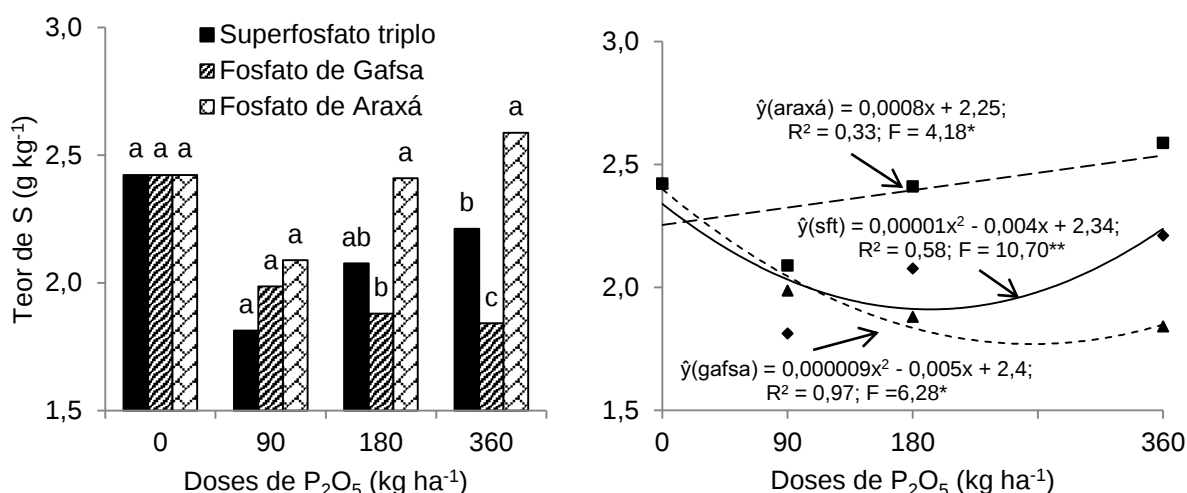


Figura 20. Teores de enxofre nas folhas de cana-de-açúcar em função das fontes de P e doses de P₂O₅, 120 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 13. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 DAP, no município de Santa Albertina-SP, 2013.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fontes de P (F)	----- mg kg ⁻¹ -----				
Superfosfato Triplo	11a	9	147	122a	28
Fosfato de Gafsa	12a	9	138	100b	26
Fosfato de Araxá	10b	11	148	117a	31
Valor F	9,78**	1,79 ^{ns}	0,42 ^{ns}	5,37*	0,74 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)					
0	11	11	160	107	35
90	11	9	127	110	23
180	11	9	146	117	30
360	12	10	146	119	24
Valor F	1,50 ^{ns}	1,74 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,86 ^{ns}	2,68 ^{ns}
Torta de filtro (T)					
Com	11	9	131b	99b	23b
Sem	12	10	157a	127a	33a
Valor F	2,93 ^{ns}	0,85 ^{ns}	7,02*	23,45**	8,50**
Interações					
Int F x D	1,84 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Int F x T	0,67 ^{ns}	0,05 ^{ns}	2,42 ^{ns}	2,54 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Int D x T	2,53 ^{ns}	3,65*	1,48 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,46 ^{ns}
Int F x D x T	1,45 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,39 ^{ns}
CV (%)	14,6	39,8	28,9	22,2	50,0

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Outro fator que pode contribuir para a redução na absorção de Fe e Zn quando presente a torta é a grande quantidade de P que pode ser derivada da torta de filtro. Este fato é relatado na literatura, mas há controvérsias sobre os mecanismos envolvidos na interação entre o P e o Zn. Alguns autores descrevem que, na presença de altas concentrações de P, tanto no solo quanto na planta, possivelmente, ocorra precipitação do P com o Zn. Em relação à absorção, pode haver insolubilização do Zn pelo fosfato na superfície das raízes (reduzindo a absorção), ou inibição não competitiva da absorção de Zn pelo P (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O teor de Cu foi maior na ausência de torta de filtro na maior dose de P empregada. Porém na presença de torta houve ajuste linear decrescente dos teores à medida que aumentou-se as doses de P, ao contrário da ausência de torta onde houve ajuste quadrático com o aumento das doses de P (Figura 21). O mesmo efeito também foi verificado por Caione (2013). A complexação do Cu pela matéria orgânica é relatada na literatura e serve de base para explicar o que acontece no primeiro caso. Já no segundo caso a redução dos teores de Cu com o aumento das doses de P corrobora com as informações da literatura (MALAVOLTA, 2006).

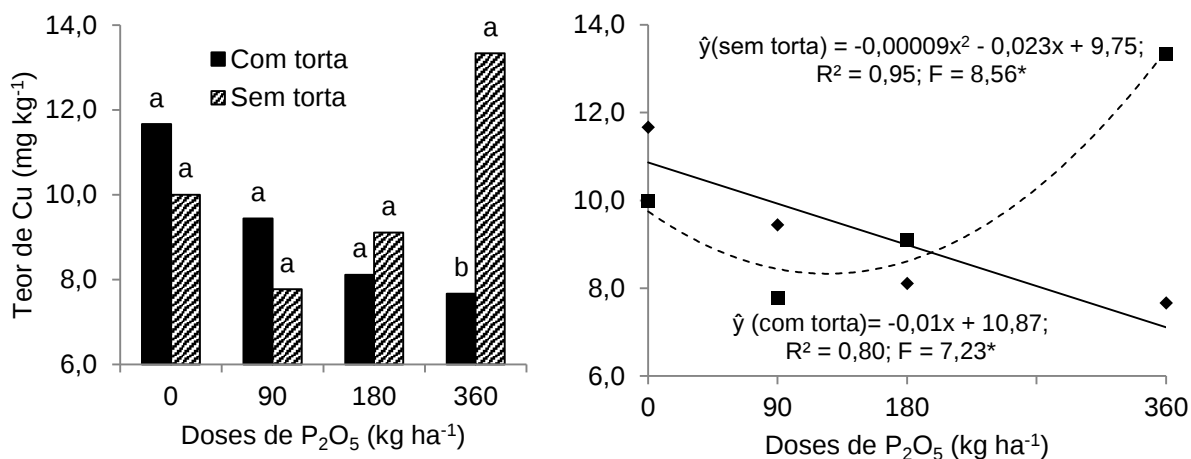


Figura 21. Teores de cobre nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 120 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi detectada correlação positiva e significativa do teor de P na folha diagnóstica aos 120 DAP com o teor de P resina de 0-20 cm ($r = 0,28^*$), produção de colmos ($r = 0,47^{**}$), acúmulo de P nos colmos ($r = 0,50^{**}$), acúmulo de P na palhada ($r = 0,35^{**}$) e acúmulo de P total ($r = 0,55^{**}$). Vale ressaltar que apesar de significativo os coeficientes de correlação apresentaram baixos valores.

6.1.4 Estado nutricional da cana-de-açúcar aos 240 DAP

6.1.4.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

Os teores de nutrientes na folha-diagnóstica da cana aos 240 DAP, conforme Rajj et al. (1997), são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência da torta de filtro, 240 DAP, no município de Santa Adélia-SP, 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes de P (F)	----- g kg ⁻¹ -----					
Superfosfato Triplo	17,0	1,5	8,5	3,3	1,2	1,4
Fosfato de Gafsa	16,8	1,5	8,4	3,3	1,2	1,4
Fosfato de Araxá	17,0	1,4	8,4	3,3	1,2	1,4
Valor F	0,40 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	17,3	1,5	8,9	3,2	1,0	1,4
90	17,1	1,5	8,3	3,4	1,2	1,4
180	16,8	1,5	8,3	3,4	1,2	1,4
360	16,5	1,5	8,3	3,2	1,3	1,4
Valor F	1,64 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,56 ^{ns}	8,74 ^{**}	0,35 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	16,8	1,5a	8,4	3,3	1,2	1,4
Sem	17,0	1,4b	8,5	3,3	1,2	1,4
Valor F	0,31 ^{ns}	7,92 ^{**}	0,59 ^{ns}	0,29 ^{ns}	1,55 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Interações						
Int F x D	1,02 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,13 ^{ns}
Int F x T	0,64 ^{ns}	3,90 [*]	0,64 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,49 ^{ns}	2,89 ^{ns}
Int D x T	0,58 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,46 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Int F x D x T	0,11 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,71 ^{ns}
CV (%)	6,3	8,3	11,5	15,9	12,5	16,3

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Houve efeito da interação entre a fonte de P e torta de filtro para o teor de P. Na Figura 22 é apresentado o desdobramento da interação. Verificando-se que quando empregado o superfosfato triplo e o fosfato de Araxá, na presença de torta de filtro, os teores de P na folha foram superiores.

A disponibilidade de fósforo para as plantas em solos é influenciada pela adição deste elemento por meio da adubação fosfatada e regulada pelo fenômeno de sorção de P pelo solo. Tal fenômeno acontece na superfície dos óxidos de Fe e de Al através da troca de ligantes; onde os grupos OH são substituídos por íons fosfatos da solução do solo, reduzindo sua concentração em solução (AFIF et al., 1995; ANDRADE et al., 2003; SANTOS, 2008). As substâncias húmicas presentes na matéria orgânica da torta de filtro podem atuar na redução da adsorção do P pelo solo (AGUILERA et al., 1992; LEE; KIM, 2007), competindo pelos mesmos sítios de adsorção do fosfato (CALHEIROS et al., 2011). A combinação da torta de filtro com as diferentes fontes de fosfato pode ter elevado o teor de substâncias húmicas, atuando na sorção de fósforo, promovendo a interação fontes de P x torta para o teor de P. Desta forma, verifica-se aumento na eficiência de absorção de P pelas fontes de fósforo, quando associada ao composto orgânico, comparado à sua aplicação isolada, devido ao aumento dos compostos orgânicos no solo diminuírem a adsorção de P e, aumentarem sua disponibilidade no solo e a absorção pela planta.

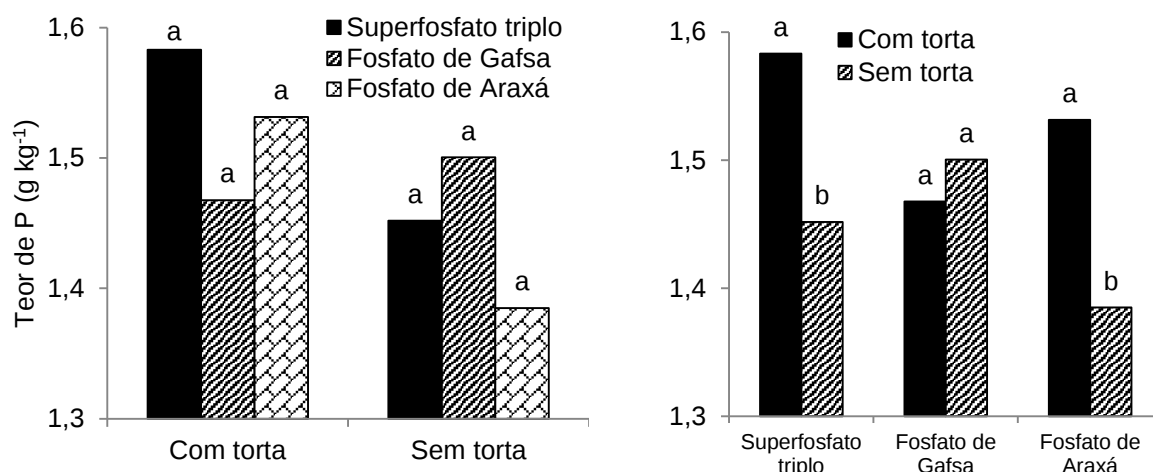


Figura 22. Teores de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar em função da fonte de P e torta de filtro, 240 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de Mg também foram influenciados pelas doses de P aplicadas na cultura. Apesar de não significativa, a interação de fatores doses e torta de filtro mostra que na presença da torta, os teores de Mg na folha aumentaram de forma quadrática, enquanto que na ausência o aumento foi linear (Figura 23).

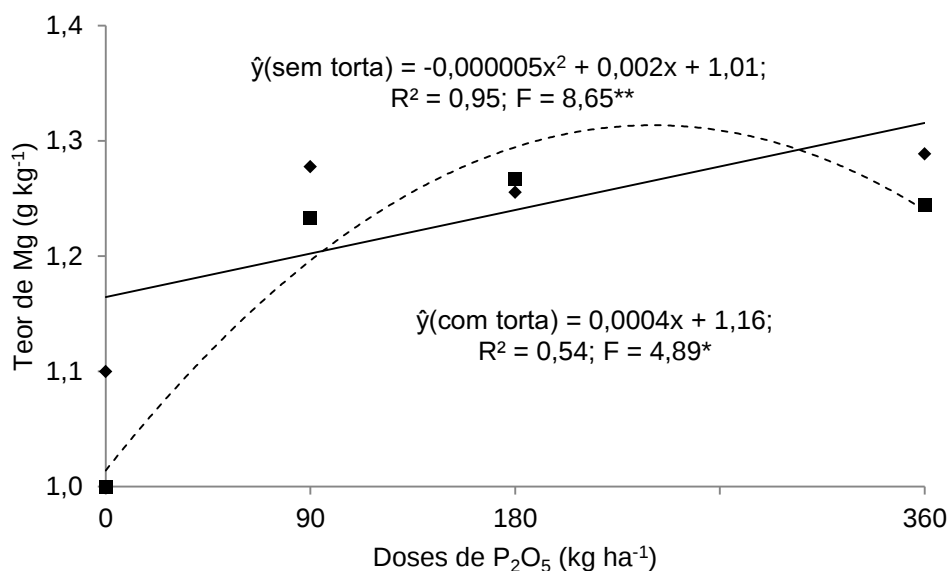


Figura 23. Teores de magnésio nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 240 DAP em Santa Adélia-SP, 2013.

É importante salientar que os teores de N, K e S estão abaixo da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997) que é de 18-25 g kg⁻¹ para o N; 10-16 g kg⁻¹ para o K e 1,5-3,0 g kg⁻¹ para o S. Os teores de P estão no limite inferior da

faixa considerada como adequada que é de 1,5-3,0 g kg⁻¹. Por outro lado, os teores de Ca e Mg são considerados adequados (2,0-8,0 g kg⁻¹ para o Ca e 1,0-3,0 g kg⁻¹ para o Mg).

Os teores de micronutrientes na folha diagnóstica variaram em função dos tratamentos; o resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 15. Os teores de Fe foram influenciados pelas doses de P e pela torta de filtro. O desdobramento dos fatores é apresentado na Figura 24.

Tabela 15. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 240 DAP, no município de Santa Adélia-SP, 2013.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fontes de P (F)	----- mg kg ⁻¹ -----				
Superfósforo Triplo	19	10	67	46	14
Fosfato de Gafsa	21	10	67	43	13
Fosfato de Araxá	19	11	65	46	14
Valor F	1,98 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,62 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)					
0	20	13	69	43	14
90	19	10	65	47	14
180	18	9	66	46	13
360	20	10	66	45	13
Valor F	2,78 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,83 ^{ns}
Torta de filtro (T)					
Com	20	9	69a	42b	14
Sem	19	12	64b	48a	14
Valor F	0,23 ^{ns}	2,84 ^{ns}	6,40*	6,85*	1,66 ^{ns}
Interações					
Int F x D	2,36 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,09 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Int F x T	0,50 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,51 ^{ns}	4,12*
Int D x T	2,96 ^{ns}	2,72 ^{ns}	3,10*	0,77 ^{ns}	2,72 ^{ns}
Int F x D x T	0,87 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,85 ^{ns}
CV (%)	14,0	58,4	13,3	20,6	9,3

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Na ausência de P (dose 0) o teor de Fe foi maior na presença da torta, entretanto com a aplicação do P (doses de 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅) os teores de Fe não diferem. No desdobramento inverso, ou seja, estudando-se as doses dentro da torta verifica-se que na presença da torta ocorre ajuste decrescente dos teores de Fe à medida que aumenta a dose de P, enquanto que na ausência a

regressão não foi significativa (Figura 24). Sabe-se que quando grandes quantidades de P são fornecidas, a absorção de luxo de P pode ocorrer (TAGLIAVINI; HOGE; NEILSEN, 1991); este efeito que eleva as relações de P/Fe e P/Zn em tecidos vegetais tem sido muitas vezes associado aos sintomas de deficiência de ambos os micronutrientes (LONERAGAN et al., 1979; 1982). Ainda não é claro se a maior interação ocorre na planta ou no solo. De fato, grandes quantidades de P diminuem as taxas de difusão de Zn no solo e aumentam a imobilização de Fe (FAGERIA, 2001).

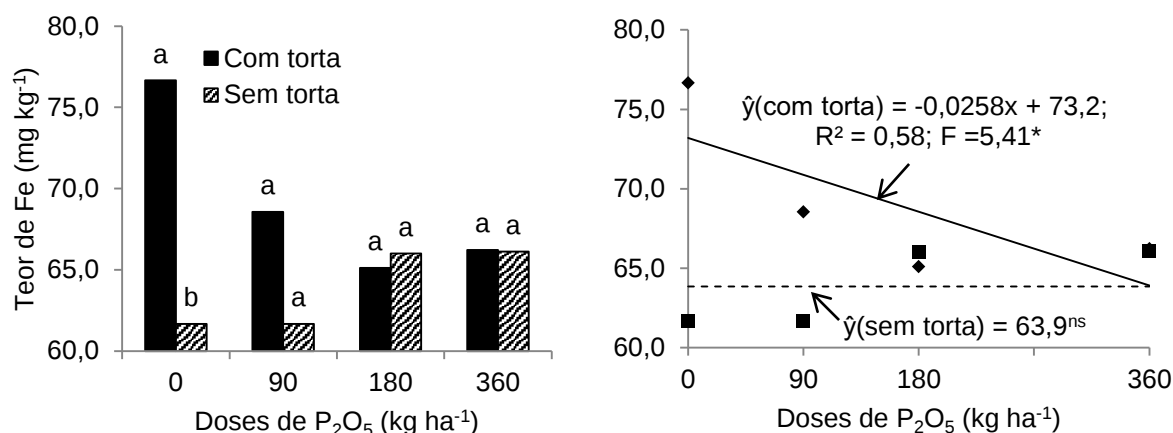


Figura 24. Teores de ferro nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 240 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve interação entre os fatores fontes de P e torta de filtro para os teores de Zn. Na ausência da torta, o fosfato de Araxá foi responsável pelos maiores teores de Zn na folha diagnóstica, diferindo do fosfato de Gafsa com menor teor de Zn. No entanto, no estudo da torta dentro de cada fonte, verifica-se que o fosfato de Gafsa na presença do composto apresentou maior teor de Zn, porém, o fosfato de Araxá apresentou maior teor de Zn na ausência da torta de filtro (Figura 25).

Salienta-se que os teores foliares de todos os micronutrientes estão dentro das faixas consideradas adequadas por Raij et al. (1997), sendo estas faixas iguais a 10-30; 6-15; 40-250; 25-250 e 10-50 mg kg⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

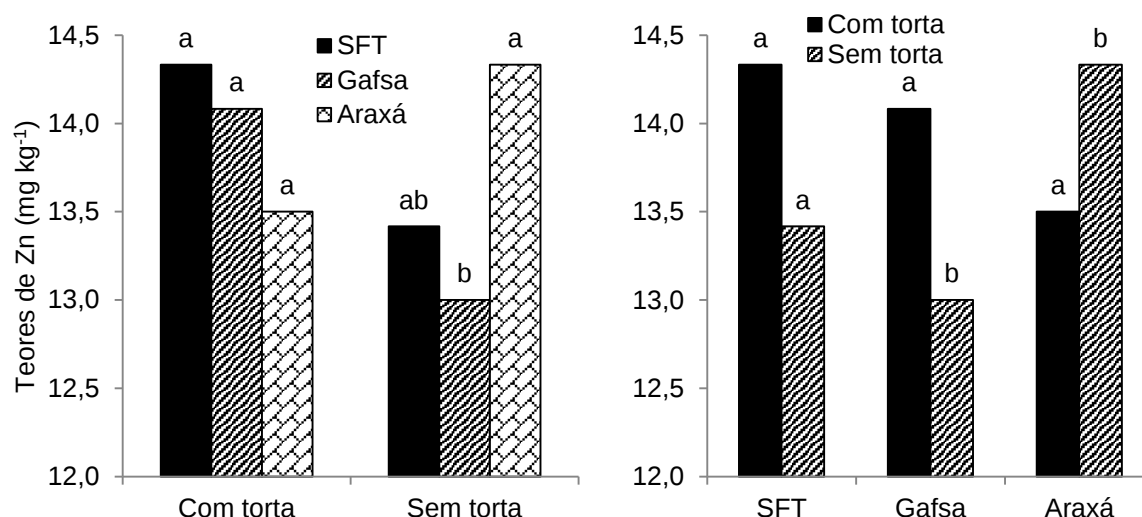


Figura 25. Teores de zinco nas folhas de cana-de-açúcar em função da fonte de P e torta de filtro, 240 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve correlação positiva e significativa para o teor de P avaliado aos 240 DAP e o acúmulo de P nos colmos ($r = 0,25^*$); também foram observadas correlações do teor de P com: pH nas duas profundidades estudadas ($r = 0,29^*$; $r = 0,44^{**}$), 0-20 e 20-40 cm, respectivamente; matéria orgânica na profundidade de 0-20 cm ($r = 0,24^*$) e P remanescente a 20-40 cm ($r = 0,44^{**}$). Cabe ressaltar que apesar de haver coeficientes de correlação significativos os mesmos foram baixos.

6.1.4.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

Os teores de macronutrientes aos 240 DAP em Santa Albertina (LVAd) são apresentados na Tabela 16. Verifica-se que os teores de Ca, Mg e S foram influenciados pelas doses de P, a fonte de P alterou os teores de Mg sendo maior quando aplicou-se SFT e a ausência de torta de filtro aumentou os teores de Ca.

Tabela 16. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 240 DAP, no município de Santa Albertina-SP, 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes de P (F)	----- g kg ⁻¹ -----					
Superfosfato Triplo	15,9	1,2	8,9	2,2	1,1a	1,0
Fosfato de Gafsa	15,3	1,1	9,0	2,0	0,9b	1,0
Fosfato de Araxá	15,6	1,2	9,1	2,1	1,0ab	1,0
Valor F	1,55 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,89 ^{ns}	7,04 ^{**}	0,90 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	16,0	1,2	8,7	2,3	1,1	1,0
90	15,4	1,1	9,0	2,0	1,0	1,1
180	15,1	1,1	9,0	2,0	0,9	1,1
360	16,0	1,3	9,2	2,1	1,0	1,1
Valor F	2,70 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,30 ^{ns}	4,89 ^{**}	5,10 ^{**}	4,98 ^{**}
Torta de filtro (T)						
Com	15,4	1,2	9,0	2,0b	1,0	1,0
Sem	15,8	1,1	8,9	2,2a	1,0	1,0
Valor F	1,56 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,40 ^{ns}	9,08 ^{**}	0,25 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Interações						
Int F x D	1,05 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,34 ^{ns}
Int F x T	0,18 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,62 ^{ns}	2,45 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Int D x T	0,03 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,87 ^{ns}	2,58 ^{ns}	0,73 ^{ns}
Int F x D x T	0,31 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,13 ^{ns}
CV (%)	7,2	35,0	8,1	14,3	10,5	9,5

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Os teores de Ca e Mg apresentaram o mesmo comportamento quando na ausência de torta de filtro, com ajuste quadrático decrescente à medida que aumentou-se as doses de P₂O₅. No entanto, o teor de S apresentou comportamento quadrático crescente com o aumento das doses de P, quando na ausência da torta. Na presença de torta os teores de Ca, Mg e S não foram influenciados pelas doses de P (Figura 26).

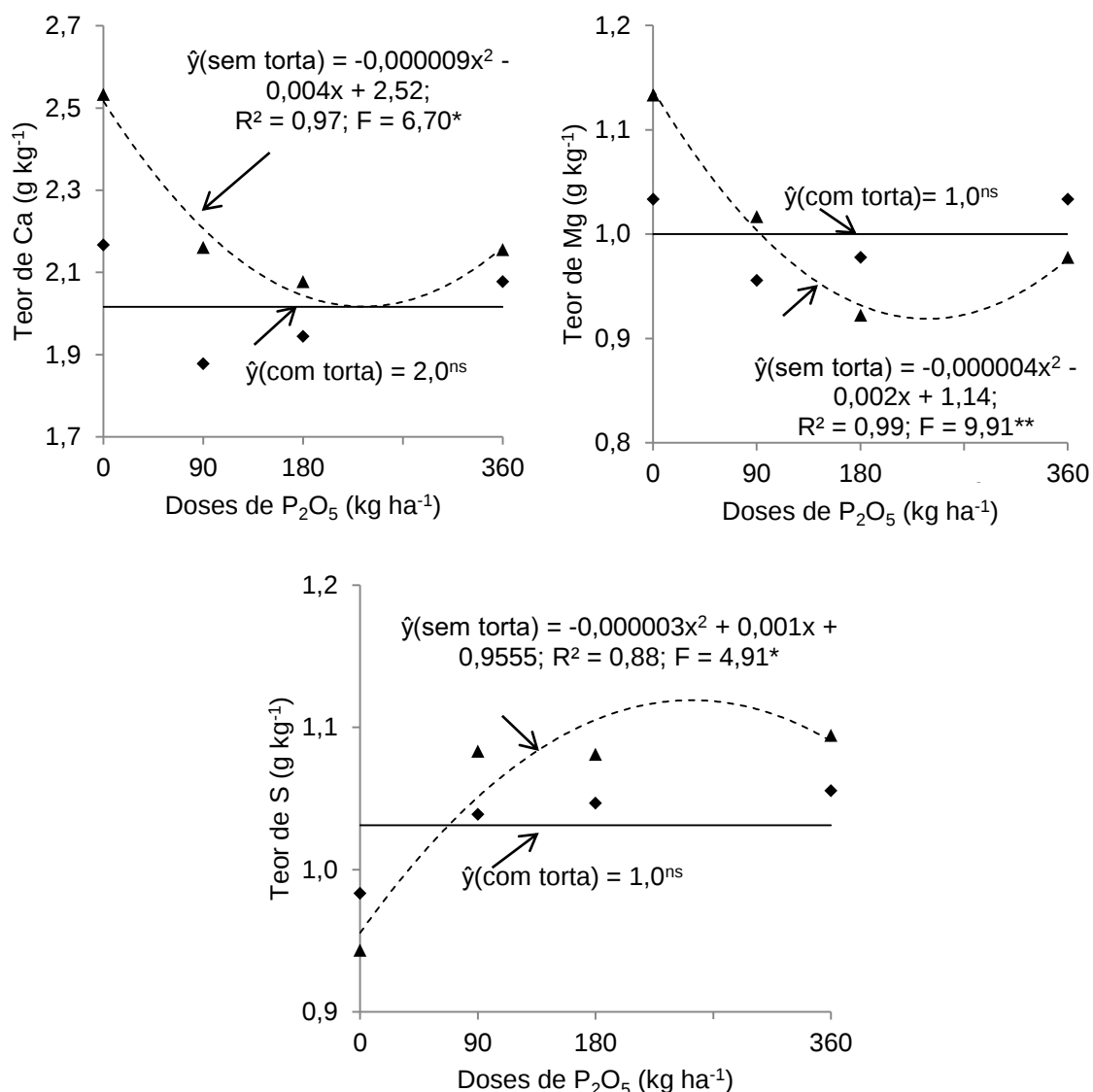


Figura 26. Teores de cálcio, magnésio e enxofre nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 240 DAP em Santa Albertina-SP, 2013.

Os teores de micronutrientes na folha diagnóstica da cana-de-açúcar cultivada em Santa Albertina são apresentados na Tabela 17. A fonte de P que promoveu maior teor de Mn foi o fosfato de Araxá, enquanto que o SFT apresentou maior teor de Zn.

Tabela 17. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 240 DAP, no município de Santa Albertina-SP, 2013.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fontes de P (F)	----- mg kg ⁻¹ -----				
Superfosfato Triplo	13	9	51	43ab	10a
Fosfato de Gafsa	14	10	48	38b	9b
Fosfato de Araxá	13	8	47	45a	10ab
Valor F	0,44 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,51 ^{ns}	4,06*	3,71*
Doses de P ₂ O ₅ (D)					
0	13	9	51	48	10
90	14	8	46	38	9
180	14	11	42	42	9
360	12	8	55	41	9
Valor F	2,71 ^{ns}	0,43 ^{ns}	2,69 ^{ns}	3,60*	1,43 ^{ns}
Torta de filtro (T)					
Com	13	7	49	37b	10
Sem	13	11	48	48a	9
Valor F	0,15 ^{ns}	3,22 ^{ns}	0,03 ^{ns}	23,59**	1,30 ^{ns}
Interações					
Int F x D	0,65 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Int F x T	0,27 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Int D x T	0,17 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,44 ^{ns}	5,62**	0,35 ^{ns}
Int F x D x T	1,23 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,51 ^{ns}
CV (%)	13,4	91,9	29,8	23,3	20,5

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Ainda em relação aos teores de Mn, verifica-se que houve efeito significativo da interação doses de P e torta de filtro. Neste sentido, foi feito o desdobramento da interação para evidenciar os efeitos dos fatores, no estudo da torta dentro de cada dose verificando-se que na dose 0 de P a ausência de torta promoveu os maiores teores do micronutriente, entretanto, quando aplicado P não ocorre diferenças entre os teores de Mn. No estudo das doses dentro da torta de filtro é observado que na ausência do composto ocorre ajuste quadrático decrescente com o aumento das doses de P no teor de Mn na folha diagnóstica, por outro lado, na presença do composto não houve ajuste nas doses de P (Figura 27).

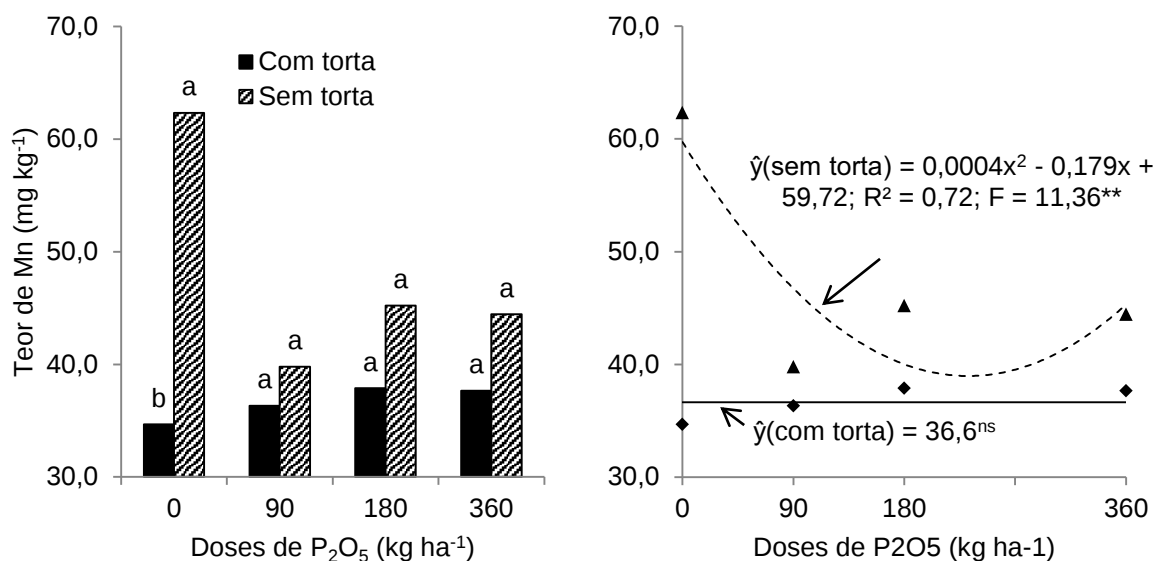


Figura 27. Teores de manganês nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 240 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Novamente observa-se a capacidade de complexação do Mn pela M.O. (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2006). Esse fator já foi discutido anteriormente e abordado por Santos (2012b). Ressalta-se que houve correlação entre o teor de P na folha diagnóstica, avaliada aos oito meses de desenvolvimento, com o pH a 20-40 cm ($r = -0,30^*$).

6.1.5 Atividade da fosfatase ácida foliar, acúmulo de P e produção de palhada e colmos

6.1.5.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

Houve interação dos fatores fonte de P com a torta de filtro para a atividade da fosfatase (APase) (Tabela 18).

Tabela 18. Atividade da fosfatase ácida foliar (APase), acúmulo de P, produção de palhada e colmos e número de colmos por metro (NC) de cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, no município de Santa Adélia-SP, 2013.

	APase	Acúmulo de P			Produção		NC
		Palhada	Colmo	Total	Palhada	Colmo	
Fontes de P (F)	nmol min ⁻¹ mg ⁻¹	-----	kg ha ⁻¹	-----	-----	t ha ⁻¹	-----
Superfosfato triplo	751,5	12,0	15,4a	27,4	30,5	160,1ab	14,6
Fosfato de Gafsa	724,3	12,2	14,4a	26,6	33,1	176,8a	16,3
Fosfato de Araxá	795,8	10,2	12,1b	22,2	29,8	153,2b	15,2
Valor F	0,90 ^{ns}	0,76 ^{ns}	8,91**	3,25*	1,29 ^{ns}	5,75**	2,81 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)							
0	712,4	11,4	10,2	21,6	34,6	132,7	15,1
90	733,5	11,8	13,6	25,4	30,6	170,7	15,1
180	835,5	12,1	15,6	27,7	30,5	176,0	15,2
360	747,5	10,6	16,4	27,0	29,0	174,1	16,1
Valor F	1,51 ^{ns}	0,19 ^{ns}	17,33**	2,30 ^{ns}	1,86 ^{ns}	12,46**	0,73 ^{ns}
Torta de filtro(T)							
Com	791,3	10,9	16,1a	27,0	32,3	169,5a	14,8b
Sem	723,1	12,0	11,9b	23,8	30,1	157,3b	16,0a
Valor F	2,40 ^{ns}	0,48 ^{ns}	39,84**	3,13 ^{ns}	1,52 ^{ns}	4,39*	4,11*
Interações							
Int F x D	0,71 ^{ns}	1,42 ^{ns}	5,30**	2,93*	1,47 ^{ns}	2,60*	0,60 ^{ns}
Int F x T	7,03**	0,85 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,48 ^{ns}
Int D x T	0,41 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,65 ^{ns}	2,33 ^{ns}	1,53 ^{ns}	2,86*
Int F x D x T	1,87 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,01 ^{ns}
CV (%)	24,7	55,0	20,1	29,8	24,2	15,1	16,2

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Na ausência da torta de filtro houve menor atividade da APase ao se aplicar o superfosfato triplo e maior atividade ao fosfato de Araxá. No entanto, quando estudada a torta dentro de cada fonte verifica-se que apenas para o superfosfato triplo houve efeito da torta, com maior atividade da APase na presença de torta de filtro (Figura 28). Dentre os adubos fosfatados solúveis, os mais empregados na agricultura são, de maneira geral, comercializados na forma de grânulos. É o caso

do superfosfato triplo. A granulação além de facilitar a sua aplicação na lavoura, limita a quantidade de solo que entra em contato com o adubo, diminuindo a insolubilização de P no solo (SOUSA; LOBATO, 2003). Desta forma, ao proporcionar a menor reação do P com o solo, o SFT promove melhor aproveitamento do nutriente pela planta, detectado pela redução da atividade da fosfatase, uma vez que a falta de P ocasiona elevação da atividade da enzima, fato já observado por diversos autores (BIELESKI; FERGUNSON, 1983; GARCIA; ASCENCIO, 1992; SUN; ZHANG, 2002; KOUAS et al., 2009).

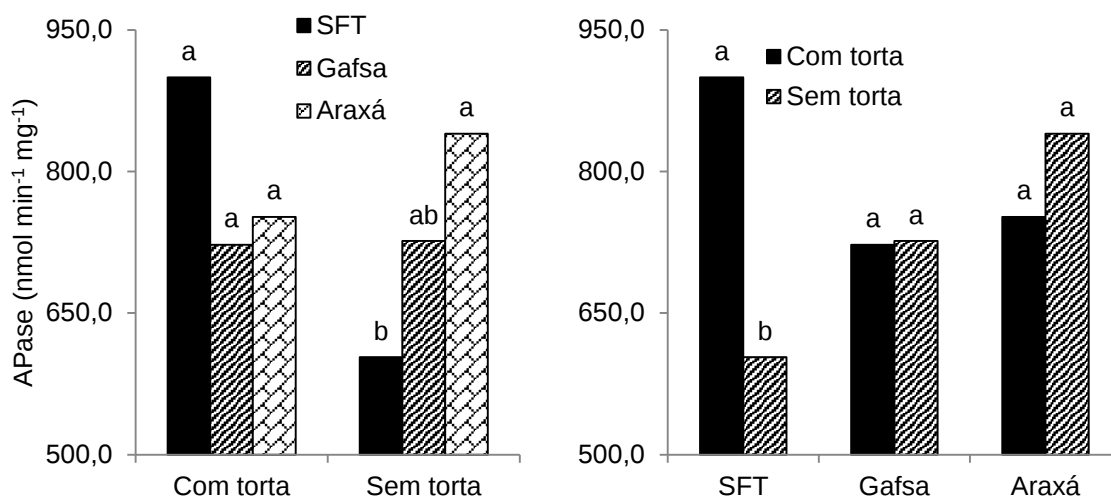


Figura 28. Atividade da fosfatase em folhas de cana-de-açúcar em função da fonte de P e torta de filtro, 240 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Também ocorreu interação entre os fatores fonte e dose de P para o acúmulo de P no colmo, total e na produção de colmos (Tabela 18). Em relação ao acúmulo de P no colmo, o desdobramento dos fatores fonte dentro de cada dose de P mostrou que na ausência de P e na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não houve diferença entre as fontes, porém na dose 180 kg ha⁻¹ a fonte Araxá apresentou menores valores de acúmulo de P. Já na dose de 360 kg ha⁻¹ o maior valor foi obtido com uso do superfosfato triplo. No desdobramento inverso, doses dentro de cada fonte, verifica-se que o superfosfato triplo apresentou aumento linear no acúmulo de P com o aumento das doses de P. O fosfato de Gafsa apresentou comportamento quadrático e não houve ajuste para o fosfato de Araxá (Figura 29).

Com relação ao acúmulo de P total, nota-se que nas doses inferiores de P (0 e 90 kg ha⁻¹) não houve diferenças para as fontes testadas, entretanto, na dose 180 o fosfato de Gafsa apresentou maior acúmulo de P total. Por outro lado, na dose 360 kg ha⁻¹ o SFT proporcionou maior conteúdo total do nutriente. No desdobramento inverso verifica-se aumento com ajuste linear para o SFT e aumento com ajuste quadrático para o fosfato de Gafsa. O fosfato de Araxá não apresentou ajuste significativo na variável analisada (Figura 29).

Para produção de colmos verifica-se que nas doses intermediárias (90 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅) o fosfato de Gafsa apresentou maiores produções. Já no estudo das doses dentro de cada fonte o fosfato de Gafsa apresentou comportamento quadrático com o aumento das doses de P (atingindo maior produção de 214,0 t ha⁻¹ na dose de 209,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅), por outro lado, o supefosfato triplo apresentou aumento linear da produção com a elevação das doses de P. No caso do fosfato de Araxá a produção de colmos não se ajustou a nenhuma equação sendo não significativo seu efeito para esta variável (Figura 29).

A granulação de produtos de baixa solubilidade em água resulta em dissolução mais lenta no solo e redução na eficiência agronômica no ano da aplicação, comparando-se a forma finamente moída. Os fosfatos naturais sedimentares de alta reatividade (FNR) como de Carolina do Norte, Gafsa entre outros, vêm sendo importados nos últimos anos. O fosfato de Gafsa já foi comercializado no Brasil, na década de 70, na forma finamente moída e alguns testes com culturas anuais em várias regiões mostraram que sua eficiência, quando aplicado até mesmo à lanço e incorporado em solos com pH em água inferior a 6,0 é similar à dos fosfatos solúveis em água já no primeiro ano de aplicação. Atualmente, esses produtos são comercializados na forma não-moída (farelada), o que facilita a sua aplicação; entretanto, resulta em menor eficiência agronômica para culturas em primeiro ano (SOUSA; LOBATO, 2003).

Os fosfatos naturais brasileiros (Araxá, Patos de Minas, Catalão, entre outros), cuja dissolução no solo é muito lenta, sobretudo em condições de acidez corrigida (pH em água em torno de 6,0), têm eficiência agronômica reduzida, em relação aos fosfatos solúveis em água, nos primeiros anos depois da aplicação (SOUSA; LOBATO, 2003).

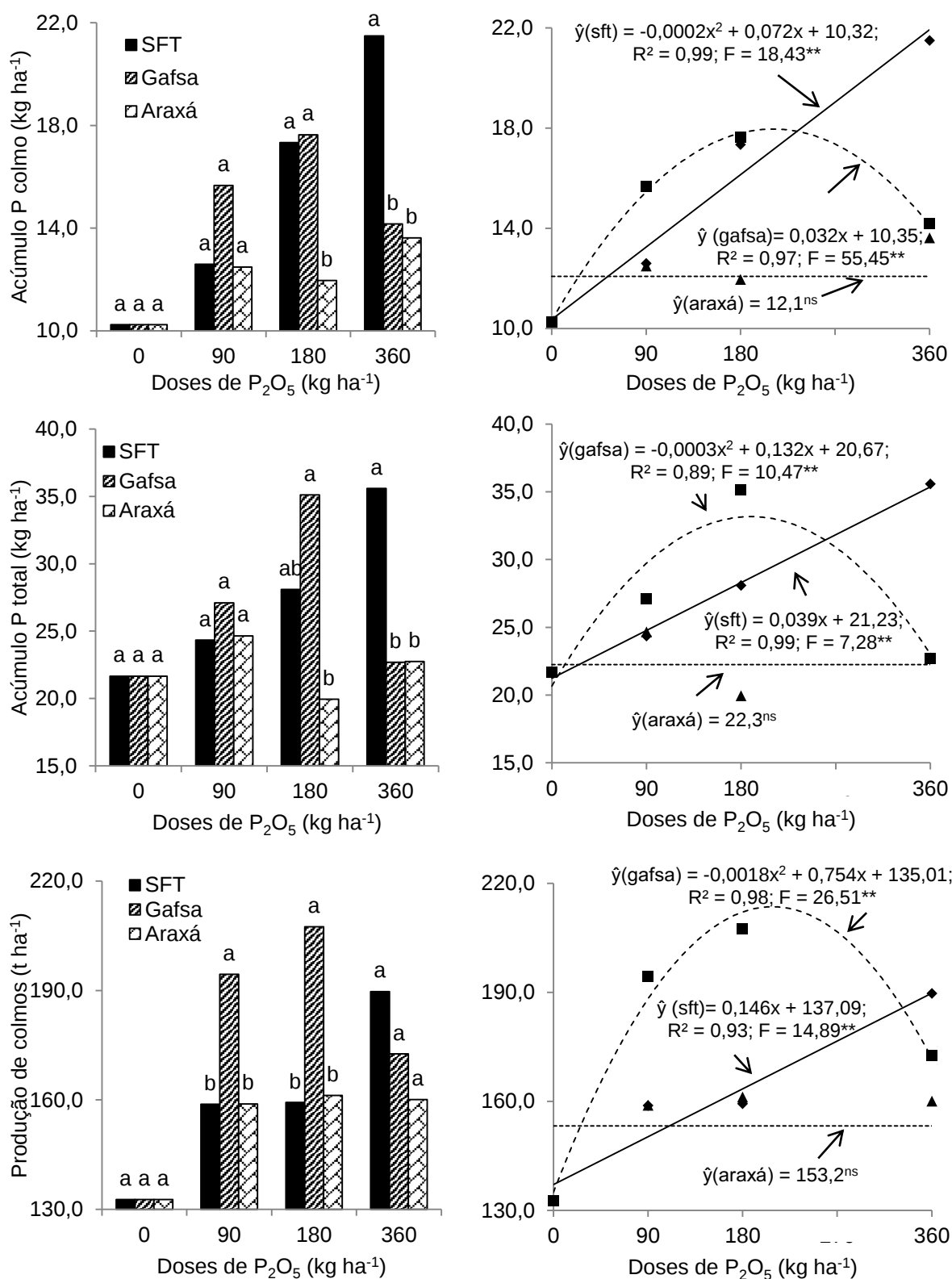


Figura 29. Acúmulo de P no colmo, total e produção de colmos de cana-de-açúcar em função das fontes de P e doses de P₂O₅, 360 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve interação entre as doses de P e a torta para o número de colmos por metro (Tabela 18). Na ausência de P (dose 0) o maior número de colmos foi obtido na ausência da torta, no entanto, quando aplicado P nas demais doses não foi verificado diferença entre a ausência e presença da torta. Já no estudo das doses, nota-se que na presença da torta houve aumento linear do número de colmos por metro em função do aumento das doses de P. Por outro lado na ausência da torta não houve ajuste nas doses, sendo não significativo o efeito para esta variável (Figura 30).

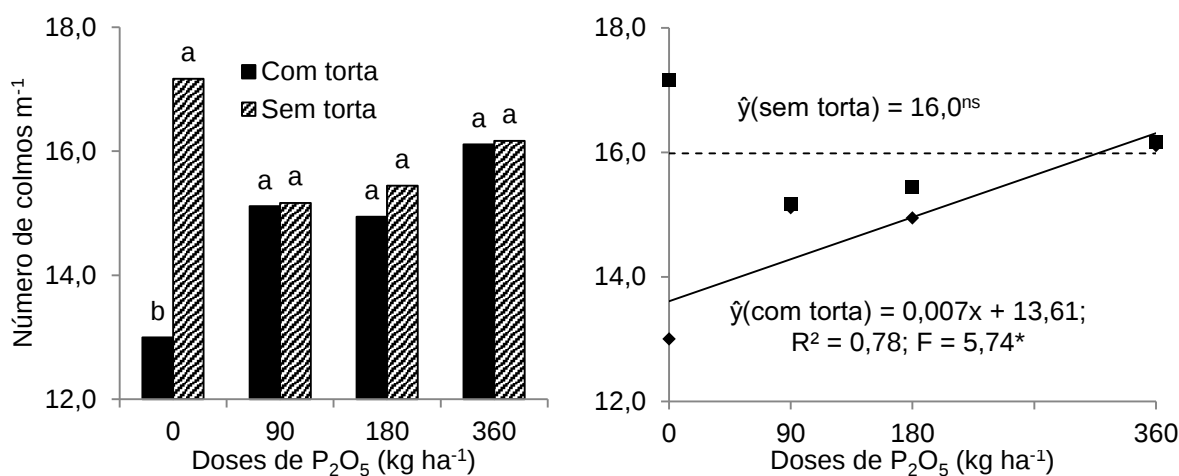


Figura 30. Número de colmos de cana-de-açúcar por metro em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 360 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi realizado o teste de correlação linear simples e nele foi detectado que a produção de colmos obteve correlação com o teor de P no solo (resina) nas duas profundidades ($r = 0,29^*$; $r = 0,45^{**}$, 0-20 e 20-40 cm, respectivamente), com o acúmulo de P nos colmos ($r = 0,75^{**}$), produção de palhada ($r = 0,27^*$), acúmulo de P na palhada ($r = 0,37^*$), acúmulo de P total ($r = 0,68^{**}$) e número de colmos por metro ($r = 0,36^{**}$), evidenciando a importância da nutrição fosfatada na produção da cana planta.

6.1.5.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

Não houve efeito de qualquer variável na atividade da fosfatase ácida (APase) nas folhas da cana (folha +1) coletadas aos 240 DAP (Tabela 19).

Houve efeito da interação fontes de P e torta para o acúmulo de P na palhada (folhas + ponteiros) (Tabela 19). Desta forma, na ausência de torta houve menor acúmulo de P na palhada quando aplicado fosfato de Gafsa. Por outro lado, na presença da torta não houve diferença entre as fontes de P. No desdobramento inverso, ou seja, verificando-se os efeitos da presença e ausência de torta dentro de cada fonte não houve nenhuma diferença na variável estudada (Figuras 31A e 31B).

Tabela 19. Atividade da fosfatase ácida foliar (APase), acúmulo de P, produção de palhada e colmos e número de colmos por metro (NC) de cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, no município de Santa Albertina-SP, 2013.

	APase nmol min ⁻¹ mg ⁻¹	Acúmulo de P kg ha ⁻¹			Produção t ha ⁻¹		NC
		Palhada	Colmo	Total	Palhada	Colmo	
Fontes de P (F)		-----	-----	-----	-----	-----	
Superfosfato triplo	1340,4	10,2	26,1	36,3	19,2	150,2	15,3
Fosfato de Gafsa	1214,7	8,9	22,6	31,5	20,4	145,9	15,5
Fosfato de Araxá	1398,2	11,2	24,2	35,3	23,0	149,4	16,7
Valor F	1,21 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,39 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1,93 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)							
0	1238,1	6,9	20,4	27,3	16,4	130,6	14,7
90	1371,0	13,4	22,6	36,0	23,0	135,6	15,2
180	1343,8	10,5	24,9	35,4	21,5	156,5	15,9
360	1318,1	9,5	29,3	38,8	22,5	171,3	17,5
Valor F	0,34 ^{ns}	4,90**	5,08**	5,57**	3,53*	6,62**	4,00*
Torta de filtro (T)							
Com	1358,2	9,4	29,0a	38,4a	19,7	164,8a	16,4
Sem	1277,3	10,8	19,6b	30,4b	22,0	132,2b	15,2
Valor F	0,68 ^{ns}	1,27 ^{ns}	31,05**	14,74**	1,99 ^{ns}	19,59**	3,73 ^{ns}
Interações							
Int F x D	0,42 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,81 ^{ns}
Int F x T	0,27 ^{ns}	4,04*	1,06 ^{ns}	4,00*	1,12 ^{ns}	3,19 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Int D x T	1,22 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,57 ^{ns}	9,10**
Int F x D x T	0,61 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,59 ^{ns}	3,76 ^{ns}	2,93 ^{ns}
CV (%)	31,7	51,3	29,4	25,8	32,7	21,0	16,6

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Também houve interação das fontes de P e torta para o acúmulo total de P na planta, sendo que quando aplicado fosfato de Gafsa, na ausência da torta, houve

menor conteúdo de P, enquanto que na presença da torta não houve diferenças entre as fontes testadas. No desdobramento inverso, ou seja, estudando o efeito da torta dentro de cada fonte, verifica-se que para o fosfato de Gafsa na presença de torta o conteúdo do nutriente foi maior, entretanto, para o superfosfato triplo e fosfato de Araxá não houve diferenças entre a presença ou ausência de torta no conteúdo total de P na planta (Figuras 31C e 31D).

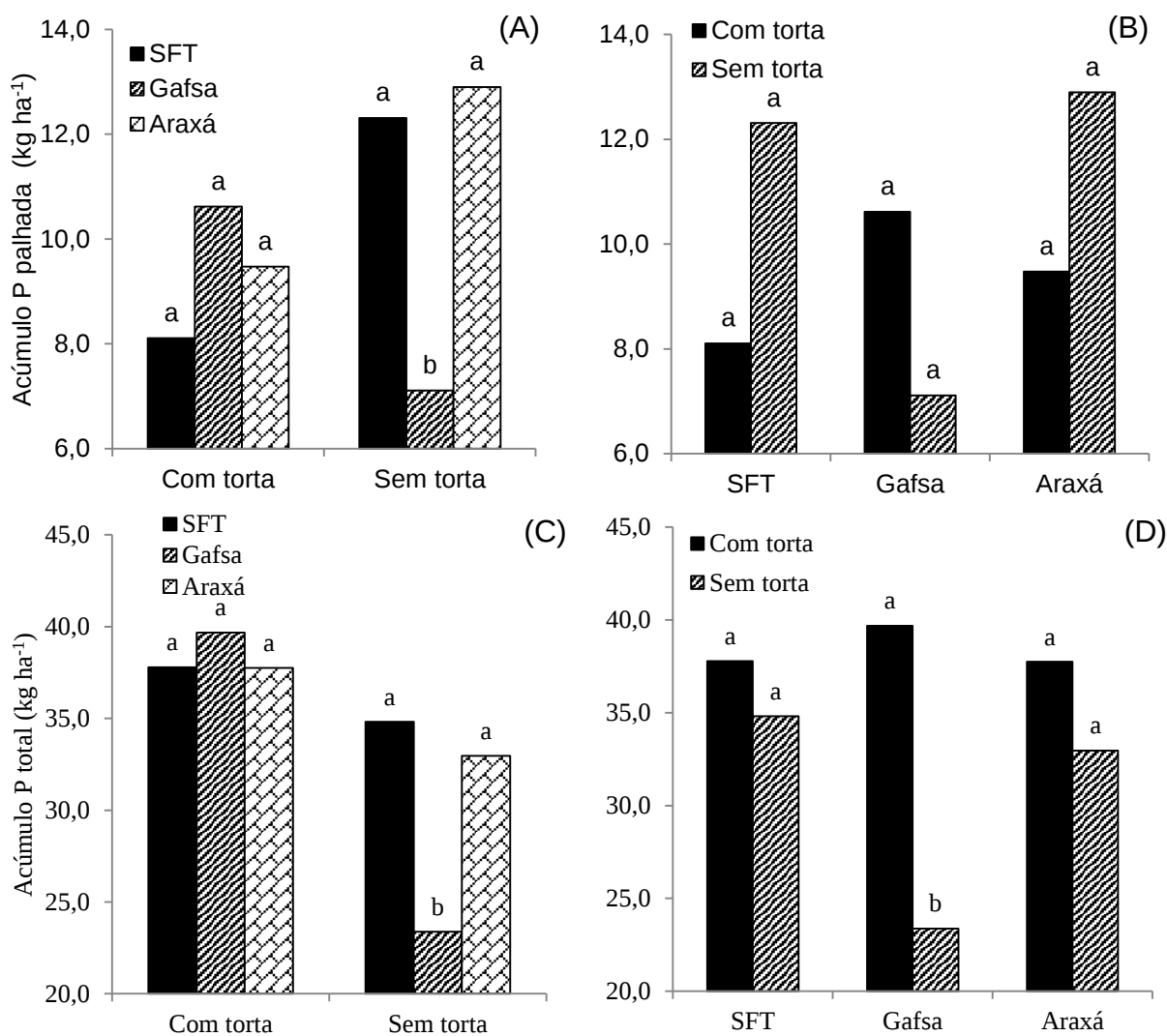


Figura 31. Acúmulo de P na palhada e total em cana-de-açúcar em função da fonte de P e torta de filtro, 360 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de P na palhada da cana também foi influenciado pelo fator isolado dose de P, sendo que na ausência de torta de filtro obteve-se aumento quadrático do conteúdo à medida que elevou-se as doses aplicadas, por outro lado,

na presença da torta não foi verificado efeito significativo (Figura 32A). Houve efeito das doses de P sobre a produção de palhada (Tabela 19). Na presença de torta ocorreu aumento linear na produção com o aumento das doses de P, por outro lado, na ausência da torta não houve ajuste em função das doses de P (Figura 32B).

O acúmulo de P no colmo sofreu influência do fator isolado torta de filtro (Tabela 19), sendo que o conteúdo do nutriente foi maior na presença da torta. Também houve efeito das doses de P nesta variável, sendo que tanto na ausência quanto na presença da torta houve incremento linear no acúmulo de P nos colmos com o aumento das doses de P (Figura 32C).

O conteúdo de P total (palhada + colmos) também foi alterado pelos fatores isolados doses de P e torta. Em relação ao primeiro, verifica-se que na presença da torta o conteúdo total do nutriente na planta aumentou de forma linear à medida que se elevaram as doses de P, por outro lado, na ausência da torta não foi verificado efeito significativo das doses (Figura 32D). Em relação ao fator isolado torta, constatou-se que, quando presente esta, elevou o conteúdo total de P na planta (Tabela 19).

A produção de colmos também foi afetada pelas doses de P aplicadas, sendo que tanto na ausência quanto na presença de torta houve aumento linear da produção com a elevação das doses de P (Figura 32E).

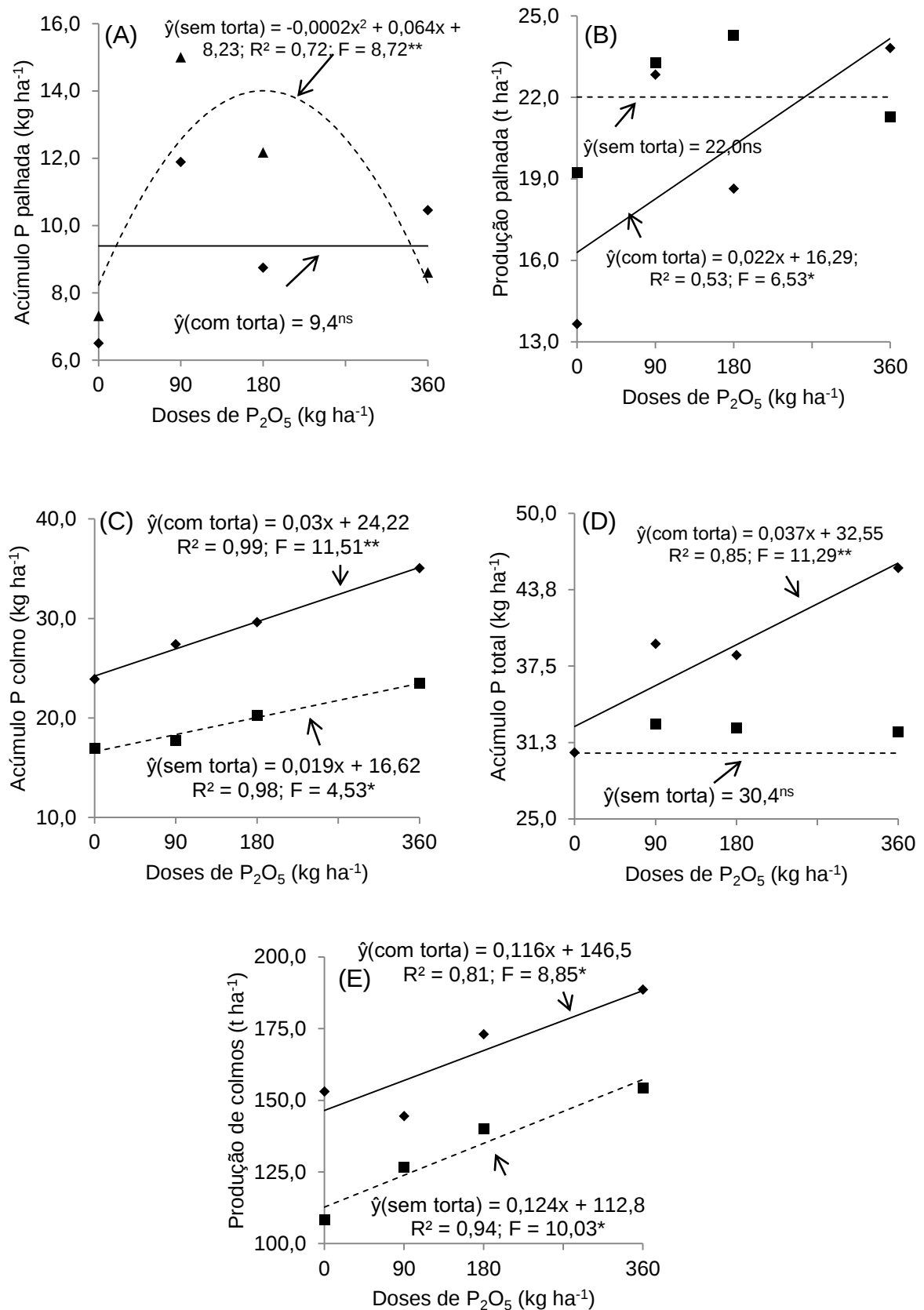


Figura 32. Acúmulo de P na palhada no colmo, total e produção de palhada e colmos de cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 360 DAP em Santa Albertina-SP, 2013.

Na ausência de aplicação de P (dose 0 de P) a presença de torta promoveu maior número de colmos por metro e nas demais doses a torta não promoveu diferenças (Tabela 19). Por outro lado, estudando-se o efeito das doses, nota-se que houve aumento do número de colmos com ajuste quadrático na ausência da torta de filtro, entretanto quando aplicado a torta não houve efeito significativo das doses no número de colmos por metro (Figura 33).

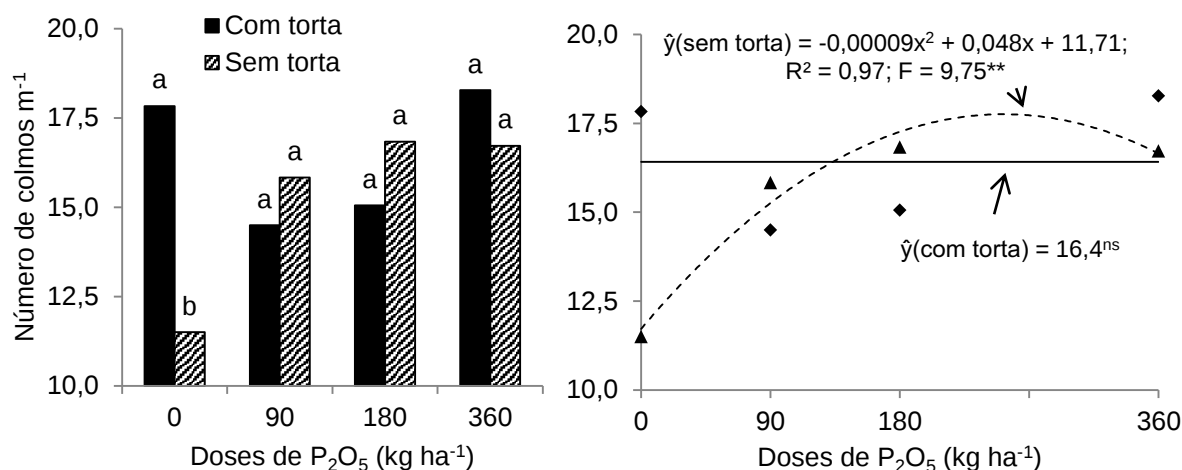


Figura 33. Número de colmos de cana-de-açúcar por metro em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 360 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se que neste solo, houve maior acúmulo de P com a aplicação de doses do nutriente na presença da torta. Com o aumento na disponibilidade de P no solo (Figura 10), ocorreu maior absorção do nutriente pela planta, refletindo em maior teor foliar (Figura 15) e maior acúmulo de P (Figura 32). Desta forma, ocorre maior armazenamento energético, uma vez que o nutriente faz parte da síntese do ATP e de outros compostos fosforilados (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Como consequência, tem-se maior desenvolvimento radicular, maior perfilhamento e maior produção (DEVI et al., 2012). Assim, a associação de uma fonte de fertilizante fosfatado com o resíduo orgânico melhora a absorção de P pelas plantas e reflete em maior produtividade (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011).

É amplamente reportado na literatura o aumento de produção de colmos, em função da aplicação de P na cana planta (SHANKARAIH; MURTHY, 2005; BOKHTIAR et al., 2008; KUMAR; SINHA, 2008; KORNDÖRFER; MELO, 2009; SANTOS et al., 2009; SANTOS et al., 2010; CAIONE et al., 2011a; DEVI et al.,

2012; CAIONE et al., 2013; TSADO et al., 2013; SANTOS et al., 2014; VASCONCELOS et al., 2014). Em experimento num LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, com baixo teor inicial de P, a aplicação de 100 kg de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo no sulco de plantio da cana-de-açúcar proporcionou incremento de produtividade de 34%, em relação à ausência de sua aplicação (CAIONE et al., 2013). Em experimento na Índia a aplicação de 52,5 kg ha^{-1} de P no sulco de plantio resultou em incremento de 20,8% na produção, comparado com tratamento sem aplicação de P (KUMAR; SINHA, 2008). Em outro trabalho avaliando o efeito isolado de doses de P em solo da Nigéria com baixo teor de P, Tsado et al. (2013) verificaram maior produção de colmos da cana-planta (102,5 t ha^{-1}) com a aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de fosfato de rocha, enquanto o tratamento controle proporcionou produtividade de apenas 62,5 t ha^{-1} , representando, portanto, incremento de 64%.

Dentre os principais efeitos benéficos do P para as plantas, destaca-se o aumento do perfilhamento da cultura, o qual tem sido o componente de produção que mais contribui para o aumento de produtividade da cana-de-açúcar (BOKHTIAR et al., 2008; CAIONE et al., 2011; DEVI et al., 2012). Desta forma, são relatados aumentos de até 191% na população de perfilhos da cana-de-açúcar com a redução de 25% da adubação com fonte mineral e adição de 15 t ha^{-1} de torta de filtro, refletindo em maior produtividade de colmos (BOKHTIAR et al., 2008). Esses autores relatam que a associação entre fertilizantes inorgânicos e orgânicos é imprescindível para conservar a fertilidade do solo e alcançar elevados rendimentos da cana-de-açúcar. Assim, contando apenas com a aplicação isolada de torta de filtro (100 t ha^{-1} em base seca), Elsayed et al. (2008) verificaram aumento na produtividade de 73 para 85 t ha^{-1} . Assim, evidencia-se que a presença da torta elevou os teores de P no solo (Tabelas 8 e 9) e na planta (Tabelas 12 e 13), refletindo em maior acúmulo do nutriente e maior produtividade de colmos (Tabelas 18 e 19).

No teste de correlação linear foi verificado efeito positivo e significativo da produção de colmos com: P-res e MO nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm ($r = 0,34^{**}$, $r = 0,24^*$ e $r = 0,37^{**}$, $r = 0,29^*$, respectivamente), acúmulo de P nos colmos ($r = 0,85^{**}$), produção de palhada ($r = 0,37^{**}$), acúmulo de P na palhada ($r = 0,24^*$),

acúmulo de P total ($r = 0,76^{**}$) e número de colmos por metro ($r = 0,49^{**}$), evidenciando a grande importância da nutrição com fósforo na produção de colmos da cultura da cana-de-açúcar.

6.1.6 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

6.1.6.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico - PVAe (Santa Adélia)

A análise de variância indicou efeito significativo da aplicação de torta de filtro ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) para as variáveis Brix do caldo, Pol da cana, Pol da cana corrigido e ATR da cana, sendo que na presença da torta os valores foram maiores que do que na sua ausência. Houve interação entre doses de fósforo e torta de filtro para a pureza do caldo e das fontes de P com a torta de filtro para a fibra do bagaço de cana (Tabela 20).

Tabela 20. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, no município de Santa Adélia-SP, 2013.

	Brix	Pol	Pureza	Fibra	Pcc	ATR
Fontes de P (F)	----- % -----					kg t ⁻¹
Superfosfato Triplo	19,8	17,9	90,2	10,9	15,5	152,0
Fosfato de Gafsa	19,9	18,1	90,9	11,0	15,7	153,5
Fosfato de Araxá	19,9	17,9	90,0	11,1	15,5	152,0
Valor F	0,10 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,04 ^{ns}	2,40 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	19,7	18,0	91,0	11,0	15,6	152,6
90	19,9	18,2	91,5	11,0	15,8	154,5
180	19,7	17,6	89,2	11,1	15,2	149,7
360	20,0	18,0	90,0	11,0	15,6	153,3
Valor F	0,64 ^{ns}	1,40 ^{ns}	3,22*	1,02 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	20,1a	18,2a	90,8	11,0	15,8a	154,7a
Sem	19,6b	17,7b	90,0	11,0	15,3b	150,3b
Valor F	6,76*	6,44*	1,86 ^{ns}	0,01 ^{ns}	5,95*	6,08*
Interações						
Int F x D	0,80 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,34 ^{ns}
Int F x T	0,26 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,30 ^{ns}	3,87*	0,07 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Int D x T	0,18 ^{ns}	0,89 ^{ns}	3,62*	2,56 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,85 ^{ns}
Int F x D x T	0,62 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,56 ^{ns}
CV (%)	3,8	5,3	2,6	3,0	5,5	5,0

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Neste sentido, Santos et al. (2011), trabalhando com diversas doses de torta de filtro (0,0-4,0 t ha⁻¹), obtiveram maiores valores de fibra, brix, pol cana nas maiores doses de torta aplicadas, dados que concordam com o presente trabalho. Em trabalho com fontes orgânicas de adubos, Anjos et al. (2007) obtiveram índices de qualidade semelhantes aos índices quando empregados fertilizantes minerais em duas variedades de cana.

O desdobramento do efeito da presença de torta em cada dose para a pureza do caldo mostrou que na ausência de aplicação de P (dose 0) a presença da torta promoveu maior valor de pureza que na ausência. Por outro lado, quando aplicado o P nas demais doses não houve diferença para a presença ou ausência da torta de filtro. No estudo das doses dentro de torta verifica-se que na presença da torta obteve-se um ajuste quadrático decrescente na pureza do caldo e, na ausência da torta, não foi verificado efeito significativo das doses aplicadas na variável estudada (Figura 34).

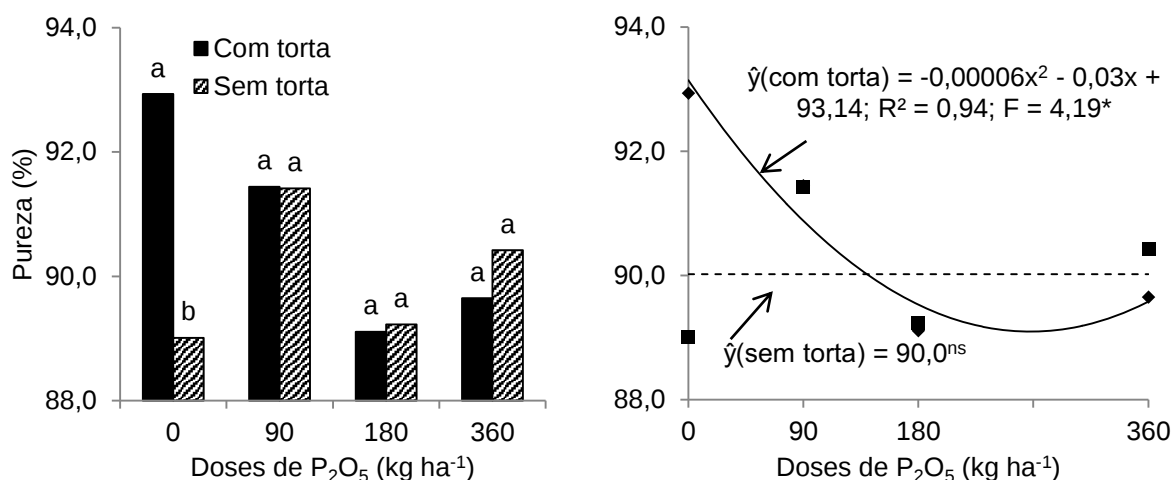


Figura 34. Pureza do caldo da cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 360 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Desdobrando-se o efeito das fontes dentro da torta de filtro, observa-se que na presença da torta obteve-se maior teor de fibra do bagaço com o uso do fosfato de Araxá que diferiu do superfosfato triplo, por outro lado, na ausência da torta não houve efeito dos diferentes tipos de fertilizantes empregados. No estudo da torta dentro de cada fonte foi detectado que sem a torta na fonte superfosfato triplo ocorre

maior teor de fibra que na presença da torta, os demais fertilizantes não diferem tanto na presença quanto na ausência de torta (Figura 35).

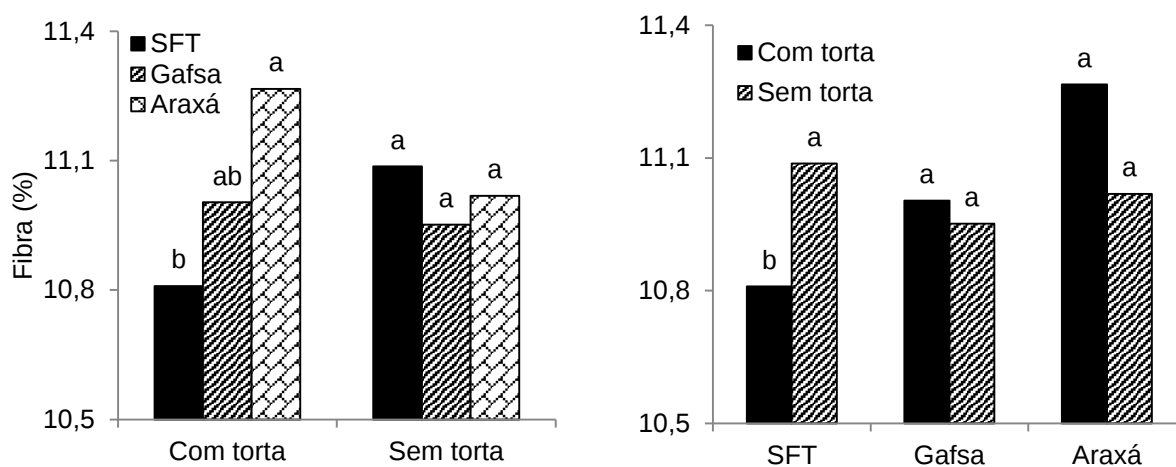


Figura 35. Fibra do bagaço de cana-de-açúcar em função da fonte de P e torta de filtro, 360 DAP em Santa Adélia-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.1.6.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico– LVAd (Santa Albertina)

A análise de variância indicou diferença entre a presença e ausência de torta de filtro (7,5 t ha⁻¹) para as variáveis brix, pol cana corrigido e ATR. As variáveis tecnológicas mencionadas tiveram índices reduzidos quando aplicado torta de filtro, sendo que na ausência foram obtidos índices maiores. Houve interação das doses de P e torta de filtro para a variável fibra (Tabela 20).

Tabela 20. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, no município de Santa Albertina-SP, 2013.

	Brix	Pol	Pureza	Fibra	Pcc	ATR
Fontes de P (F)	----- % -----					kg t ⁻¹
Superfosfato Triplo	20,6	18,3	88,6	13,3	15,1	150,3
Fosfato de Gafsa	20,3	17,9	88,2	13,4	14,8	147,6
Fosfato de Araxá	20,5	18,1	88,5	13,2	15,0	149,1
Valor F	1,11 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,09 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	20,4	18,1	88,6	13,3	15,0	148,9
90	20,5	18,2	88,4	13,2	15,0	149,6
180	20,4	18,0	88,1	13,4	14,9	148,1
360	20,5	18,2	88,5	13,3	15,0	149,6
Valor F	0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	20,3b	17,9	88,3	13,4	14,8b	147,3b
Sem	20,7a	18,3	88,5	13,2	15,2a	150,8a
Valor F	5,49*	3,77 ^{ns}	0,34 ^{ns}	2,21 ^{ns}	4,81*	5,17*
Interações						
Int F x D	0,73 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,81 ^{ns}
Int F x T	0,38 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,68 ^{ns}
Int D x T	0,82 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,46 ^{ns}	3,65*	0,28 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Int F x D x T	0,57 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,48 ^{ns}
CV (%)	3,5	4,6	1,5	3,7	4,6	4,3

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

No estudo da torta dentro de cada dose verifica-se que somente na maior dose de P aplicada (360 kg ha⁻¹ de P₂O₅) houve diferença entre a aplicação ou não de torta, sendo que na presença da torta ocorre maior teor de fibra que na ausência. No estudo das doses dentro da torta ocorre ajuste linear crescente na presença de torta com o aumento das doses de P aplicadas, no entanto, na ausência da torta não foi verificado ajuste do teor de fibra com o aumento das doses de P (Figura 36).

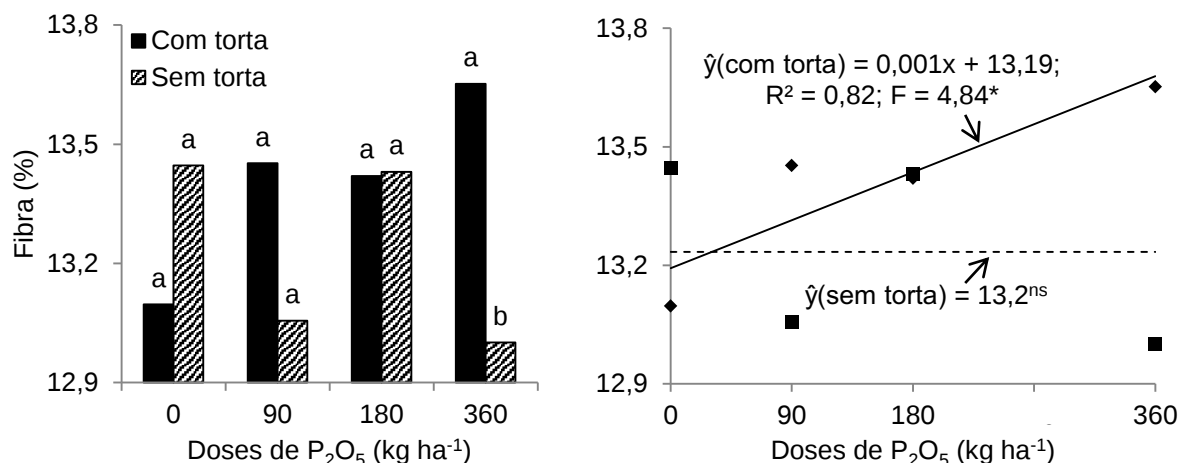


Figura 36. Fibra do bagaço de cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 360 DAP em Santa Albertina-SP, 2013. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar dos efeitos observados é importante salientar que as variações encontradas são muito baixas agronomicamente, sendo que outros autores não observaram efeitos da adubação fosfatada na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, uma vez que tal fato pode ser explicado por efeitos como clima, variedade e manejo do solo, o que torna difícil a avaliação do efeito de fertilizantes sobre tais parâmetros (PEREIRA et al. 1995). Da mesma forma que outros autores não verificaram efeito da adubação fosfatada sobre o teor de pol (LIMA et al., 2006; KORNDÖRFER; MELO, 2009).

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 19 e 20) a qualidade tecnológica da cana planta apresentou características semelhantes às obtidas por Fonseca (2011), em trabalho com a variedade RB855156 e, por Caione (2013), trabalhando com a variedade CTC 15 na região de Jaboticabal, SP. Salienta-se que os teores encontrados inserem-se nos padrões aceitos para caracterizar o estágio de cana madura (STUPIELLO, 1987). Desta forma, tais resultados evidenciam que mesmo com 12 meses de idade a planta já se encontrava adequada para o processamento industrial. Exemplo é o teor de Pol, cujos valores devem estar acima de 14% para indicar matéria prima de boa qualidade (RIPOLI; RIPOLI, 2004). Outro fator que merece destaque é que algumas unidades industriais podem recusar a matéria prima se teores de pureza abaixo de 75% forem encontrados (CONSECANA, 2006).

De maneira geral, existem vários estudos que mostram efeito da adubação fosfatada sobre o aumento de produtividade; porém, a qualidade tecnológica é pouco afetada. Tal efeito pode ser explicado através da influência de diversos fatores como clima, variedades e manejo do solo, prejudicando a avaliação do efeito de fertilizações sobre os mesmos (PEREIRA et al., 1995).

Desta forma, a adubação fosfatada (superfosfato simples e fosfato de rocha associados à torta de filtro) não apresentou efeitos sobre a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (SHANKARAI AH et al., 2000). Assim como outros estudos com diversas fontes de P não mostraram efeitos sobre Pol da cana (ELSAYED et al., 2008; DEVI et al., 2012). Diferentes proporções de adubação NPK (50, 75 e 100% da dose recomendada) na presença de torta de filtro (10 t ha^{-1}) não mostraram efeitos na qualidade tecnológica da cana (variedade Co-8021) (RAKKIYAPPAN et al., 2001). Esses autores relatam que a qualidade tecnológica está intimamente relacionada ao material genético, ainda que a adubação possa vir a melhorar, porém, de maneira menos eficaz.

6.2 Safra 2013/2014 (cana-soca)

6.2.1 Efeitos nos atributos químicos do solo

6.2.1.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

Houve efeito de todas as interações no teor de P-res no solo das duas áreas, nas duas profundidades amostradas.

Tabela 21. Teor de P (resina) nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm em ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico (PVAe) e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (LVAd) cultivado com cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 180 dias após o rebrote (DAR), no município de Santa Adélia e Santa Albertina-SP, 2014.

	PVAe		LVAd	
	P resina (mg dm ⁻³)		P resina (mg dm ⁻³)	
Fontes de P (F)	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm
Superfosfato triplo	15,8	16,2a	28,2a	14,3a
Fosfato de Gafsa	13,4	7,4c	16,1b	9,4b
Fosfato de Araxá	13,4	11,9b	11,2c	9,5b
Valor F	1,83 ^{ns}	31,01**	71,80**	9,51**
Doses P ₂ O ₅ (D)				
0	8,7	5,0	11,2	5,2
90	8,6	8,2	12,2	12,9
180	14,1	20,1	21,7	11,6
360	25,5	14,2	29,0	14,5
Valor F	43,65**	53,38**	49,98**	15,62**
Torta de filtro (T)				
Com	18,0a	17,2a	20,2a	14,8a
Sem	10,4b	6,6b	16,9b	7,4b
Valor F	40,23**	133,49**	7,64**	51,19**
Interações				
Int F x D	3,51**	23,65**	22,69**	6,30**
Int F x T	4,99*	50,07**	20,80**	14,46**
Int D x T	53,47**	16,29**	14,89**	4,45**
Int F x D x T	2,84**	50,83**	11,20**	10,35**
CV (%)	35,8	32,7	27,4	39,8

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

No PVAe houve aumento do teor de P no solo com o aumento das doses de P nas duas profundidades independente do tipo de fonte de P aplicada (Figura 37A e 37B).

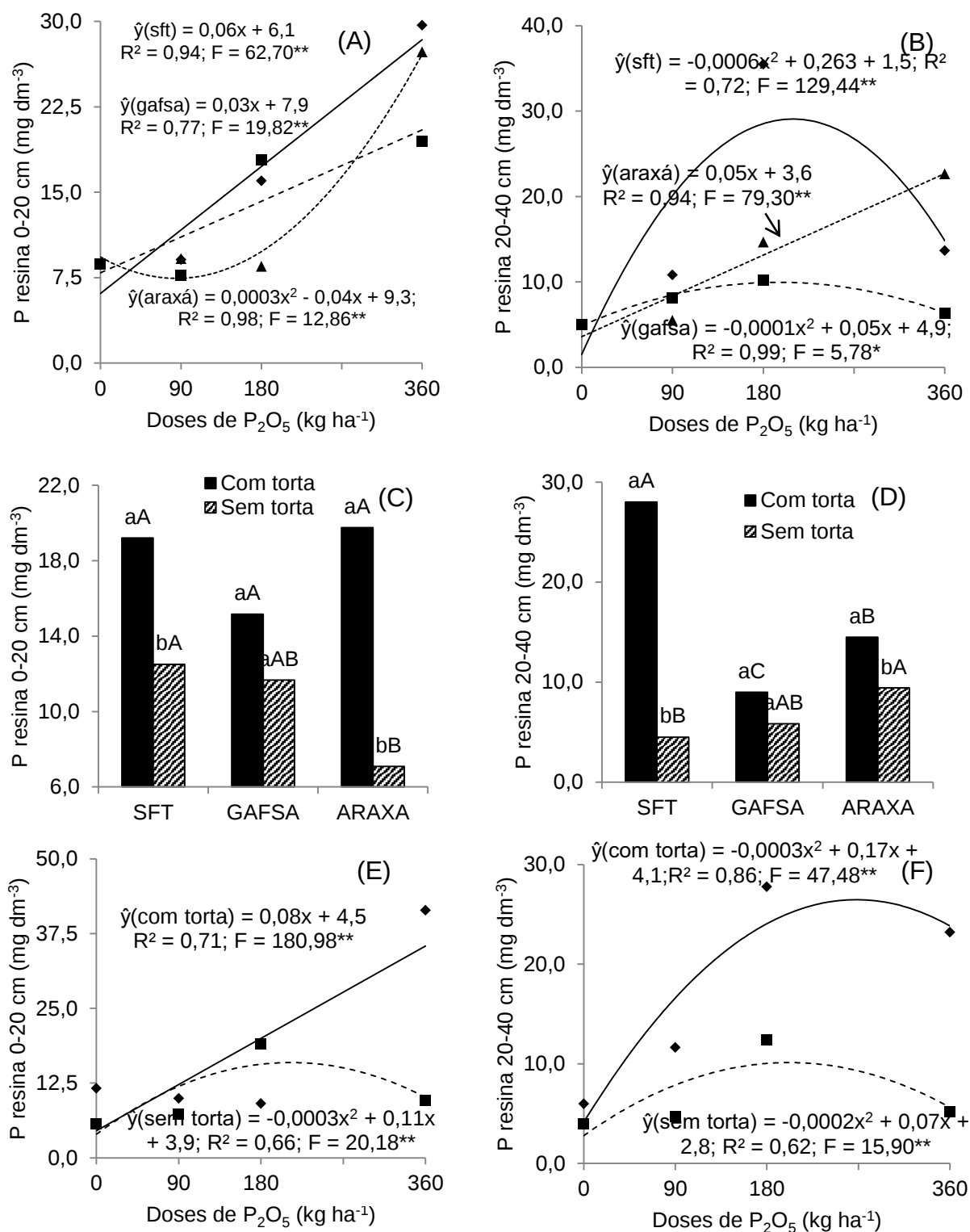


Figura 37. P-resina na profundidade de 0-20 e 20-40 cm em função das fontes e doses (A e B), fontes e torta (C e D) e doses de P e torta (E e F), 180 DAR em PVAe, Santa Adélia-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula (para torta dentro de fonte) e maiúscula (para fonte dentro de torta) não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A presença de torta de filtro aumentou os teores de P-res com a aplicação de superfosfato triplo e de fosfato de Araxá na camada superficial e na camada subsuperficial, entretanto, na ausência da torta o maior teor foi obtido com uso do superfosfato triplo em superfície e com uso de fosfato de Araxá em subsuperfície (Figura 37C e 37D).

Houve aumento no teor de P-res com a aplicação de doses de P na presença de torta de filtro nas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) (Figura 37E e 37F).

6.2.1.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

No LVAd, houve incremento no teor de P-res com a aplicação de doses de P independentemente da fonte de P aplicada, exceto quando aplicado fosfato de Araxá na camada de 0-20 cm (Figura 38A e 38B). Quando associados à torta de filtro, o superfosfato triplo e fosfato de Araxá propiciam aumento do teor de P-res na superfície e na subsuperfície, entretanto, o adubo acidulado, na presença da torta, promove maiores teores em relação às demais fontes de P em superfície e subsuperfície. Na ausência da torta, os maiores teores de P-res são obtidos pelo superfosfato triplo e pelo fosfato de Gafsa (Figura 38C e 38D).

Com a elevação das doses de P ocorre aumento dos teores de P-res tanto na ausência quanto na presença de torta de filtro em superfície (Figura 38E). Porém, em subsuperfície, o incremento de doses de P só afeta o teor de P-res quando existe torta de filtro no sulco, por outro lado, não houve ajuste das doses de P na ausência de torta para o teor de P-res (Figura 38F).

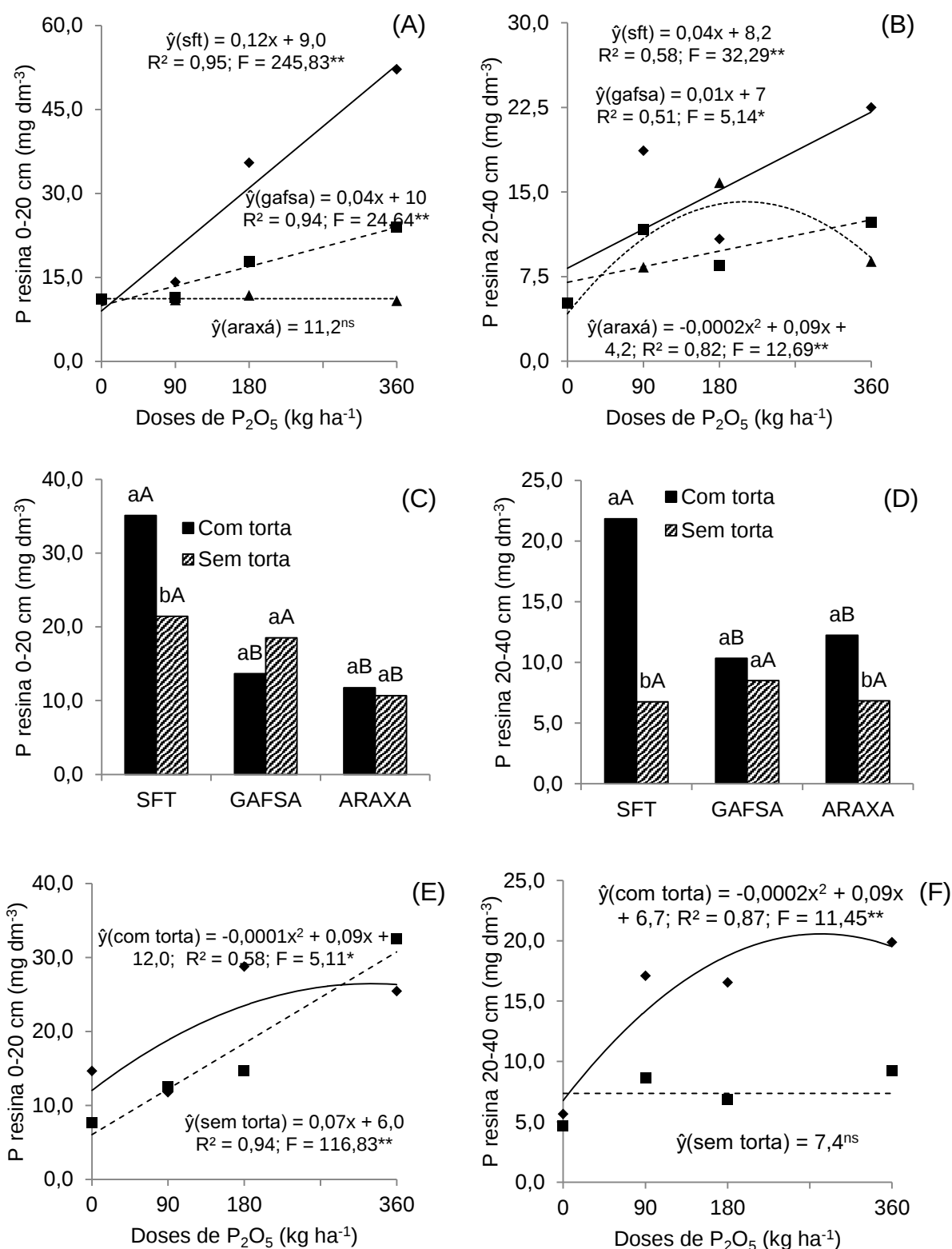


Figura 38. P-resina na profundidade de 0-20 e 20-40 cm em função das fontes e doses (A e B), fontes e torta (C e D) e doses de P e torta (E e F), 180 DAR em LVAd, Santa Albertina-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula (para torta dentro de fonte) e maiúscula (para fonte dentro de torta) não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se desta forma, que nos dois solos ocorreu incremento no teor de P-res nas duas profundidades em detrimento da aplicação de doses crescentes de P aplicadas no sulco de plantio, para as três fontes testadas, exceto com uso de Fosfato de Araxá no LVAd na profundidade de 0-20 cm (Figuras 37A e 37B; Figuras 38A e 38B). Neste sentido, Caione, Fernandes e Lange (2013), avaliando o efeito residual de três fontes de P (SFT, farinha de ossos e Fosfato de Arad, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) em 1ª e 2ª soqueira de cana-de-açúcar, verificaram que o uso de SFT propiciou menor teor de P-resina, sendo que na segunda soqueira aproximou-se dos valores obtidos com o tratamento controle. Dados que diferem deste trabalho.

Esse incremento foi maior quando associado à torta de filtro nos dois solos, principalmente em relação ao Fosfato de Araxá no PVAe na camada superficial com incremento de 185% no teor de P-res (Figura 37C). Os maiores teores de P encontrados com o uso da associação entre fertilizante e torta de filtro, na primeira soqueira, podem ser atribuídos à capacidade de elevação do pH após a aplicação de um material orgânico resultando na redução do Al trocável e, conseqüentemente, sua atividade na solução do solo. Além de que o aumento na densidade de cargas negativas na superfície dos óxidos de Fe e Al diminui a adsorção de P (HAYNES; MOKOLOBATE, 2001). Com o passar do tempo, os ácidos orgânicos resultantes da decomposição da M.O., podem diminuir o pH colaborando para a solubilização das fontes não aciduladas (Gafsa e Araxá). Além disso, destaca-se a elevação da atividade microbiana que pode contribuir para o processo de solubilização do P contido nestas fontes (CHABOT et al., 1993)

Da mesma forma que a associação da torta promoveu o incremento no teor de P-res com o uso de doses crescentes de P₂O₅ (Figurass 37E e 37F; Figurass 38E e 38F). Como já discutido anteriormente, diversos autores comprovaram a elevação de teor de P com a aplicação de P associado à um composto orgânico (GICHANGI; MNKENI; BROOKES, 2009; SANTOS et al., 2009; TAKEDA et al., 2009; KREY et al., 2013).

Estes resultados comprovam que a aplicação de fósforo na presença de torta de filtro no plantio da cana-de-açúcar promove o incremento do teor do nutriente na primeira soqueira da cultura, o que poderá contribuir para a redução da dose do

nutriente quando associado ao composto orgânico, promovendo benefícios que poderão perdurar durante os ciclos seguintes da cultura.

6.2.2 Estado nutricional da cana-de-açúcar aos 120 DAR

6.2.2.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

A análise de variância dos teores de macronutrientes analisados na folha diagnóstica da cana-de-açúcar conforme recomendação de Malavolta et al. (1992), são apresentados na Tabela 22. A aplicação de doses crescentes de P promoveu incremento no teor de P na folha diagnóstica da cana-de-açúcar avaliada aos 120 DAP, tanto na presença, quanto na ausência da torta de filtro, (Figura 39). O fator isolado torta de filtro promoveu aumento da concentração de P no tecido foliar, porém, de acordo com Malavolta et al. (1992) os teores estão abaixo da faixa considerada como adequada para a cultura (2,0-2,4 g kg⁻¹).

Tabela 22. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 DAR, no município de Santa Adélia-SP, 2014.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes de P (F)	----- g kg ⁻¹ -----					
Superfosfato Triplo	17,3	1,5a	13,4	4,7	1,9	2,4
Fosfato de Gafsa	17,5	1,4b	13,6	5,0	1,9	2,3
Fosfato de Araxá	17,6	1,4b	13,2	4,9	1,9	2,4
Valor F	0,38 ^{ns}	5,26**	0,33 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	17,7	1,4	13,8	5,2	1,9	2,4
90	17,5	1,5	13,1	4,6	1,9	2,4
180	17,4	1,5	13,2	4,5	1,9	2,4
360	17,2	1,5	13,6	5,1	2,1	2,3
Valor F	0,65 ^{ns}	6,15**	0,56 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	17,4	1,5a	13,0	5,1a	2,0	2,4
Sem	17,6	1,4b	13,8	4,5b	1,9	2,3
Valor F	1,09 ^{ns}	23,37**	2,91 ^{ns}	5,84*	3,57 ^{ns}	2,41 ^{ns}
Interações						
Int F x D	0,89 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,67 ^{ns}
Int F x T	0,40 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Int D x T	2,45 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Int F x D x T	0,51 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,98 ^{ns}
CV (%)	6,0	4,7	13,0	21,8	18,4	11,2

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Os teores de N, K e S estão dentro da faixa de teores considerados adequados por Malavolta et al. (1992), no entanto, os teores de Ca e Mg estão

abaixo da faixa. Os teores foliares de micronutrientes não foram afetados pelos tratamentos empregados (Tabela 23).

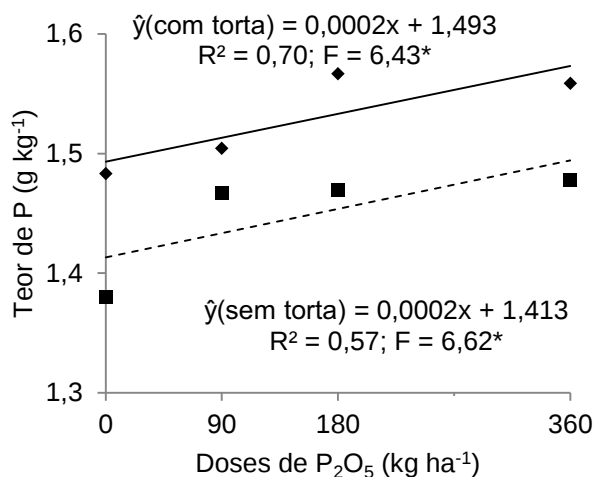


Figura 39. Teores de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar em função doses de P₂O₅ e torta de filtro, 120 DAR em Santa Adélia-SP, 2014.

Este resultado demonstra que mesmo em condições de primeira soqueira as substâncias húmicas presentes na matéria orgânica da torta de filtro podem atuar na redução da adsorção do P pelo solo (AGUILERA et al., 1992; LEE; KIM, 2007), competindo pelos mesmos sítios de adsorção do fosfato (CALHEIROS et al., 2011). Desta forma, quando aplicado torta de filtro em associação ao P-fertilizante pode ter ocorrido incremento no teor de substâncias húmicas, atuando na sorção de fósforo, promovendo a interação fontes de P x torta. Desta forma, verifica-se aumento na eficiência de absorção de P pelas plantas quando associado o fertilizante ao composto orgânico, comparado à sua aplicação isolada, devido ao aumento dos compostos orgânicos no solo diminuírem a adsorção de P elevando sua disponibilidade no solo e aumentando a absorção pela planta.

Tabela 23. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 DAR, no município de Santa Adélia-SP, 2014.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fontes de P (F)	----- mg kg ⁻¹ -----				
Superfosfato Triplo	21	9	68	66	15
Fosfato de Gafsa	21	8	62	64	16
Fosfato de Araxá	22	9	59	66	1
Valor F	0,22 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,03 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)					
0	24	9	62	61	15
90	20	8	60	67	16
180	20	9	64	66	16
360	20	8	65	67	15
Valor F	3,79 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,35 ^{ns}
Torta de filtro (T)					
Com	22	9	60	63	16
Sem	21	8	65	67	16
Valor F	0,63 ^{ns}	3,15 ^{ns}	1,82 ^{ns}	2,85 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Interações					
Int F x D	0,18 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Int F x T	0,04 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,45 ^{ns}
Int D x T	0,96 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,69 ^{ns}
Int F x D x T	0,62 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,17 ^{ns}
CV (%)	20,9	22,8	26,9	14,8	15,6

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

É importante salientar que o teor de P na folha diagnóstica determinado aos 120 DAR no PVAe obteve correlação significativa com o teor de P-res na profundidade de 20-40 cm ($r = 0,34^{**}$), com o comprimento do caule aferido aos 300 DAR ($r = 0,32^{**}$), produção de colmos ($r = 0,32^{**}$), acúmulo de P nos colmos ($r = 0,27^{*}$) e acúmulo de P total ($r = 0,33^{**}$).

6.2.2.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

Não foi verificado efeito dos tratamentos sobre os teores de macronutrientes na folha diagnóstica no LVAd na primeira soqueira da cana-de-açúcar aos 120 DAR (Tabela 24).

Tabela 24. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 DAR, no município de Santa Albertina-SP, 2014.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes de P (F)	----- g kg ⁻¹ -----					
Superfosfato Triplo	18,9	1,5	13,1	3,5	1,9	1,3
Fosfato de Gafsa	18,7	1,4	12,8	3,6	1,7	1,2
Fosfato de Araxá	18,5	1,5	12,8	3,3	1,8	1,3
Valor F	0,60 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,59 ^{ns}	2,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	19,0	1,4	13,3	3,5	1,9	1,2
90	18,3	1,4	12,7	3,3	1,7	1,2
180	18,5	1,5	12,6	3,5	1,8	1,2
360	19,1	1,5	13,1	3,4	1,8	1,3
Valor F	1,53 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	18,3	1,5	12,7	3,5	1,9	1,3
Sem	19,1	1,4	13,1	3,4	1,8	1,2
Valor F	6,30 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,04 ^{ns}	2,11 ^{ns}
Interações						
Int F x D	0,87 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Int F x T	1,78 ^{ns}	0,92 ^{ns}	2,89 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Int D x T	0,86 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Int F x D x T	2,20 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}
CV (%)	7,1	7,5	12,6	21,6	13,9	14,6

ns= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Houve efeito da interação entre doses de P₂O₅ e torta de filtro no teor de Cu (Tabela 25). Na presença da torta houve decréscimo com ajuste linear dos teores de Cu à medida que se aumentou as doses de P. No entanto, quando não foi aplicado o composto não foi verificada diferença significativa no parâmetro avaliado (Figura 40).

O mesmo efeito também foi verificado por Caione (2013) em cana planta. Tal fenômeno pode ser explicado pela complexação do Cu pela matéria orgânica (MALAVOLTA, 2006).

Tabela 25. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 120 DAR, no município de Santa Albertina-SP, 2014.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fontes de P (F)	----- mg kg ⁻¹ -----				
Superfosfato Triplo	25	9	73	70	16
Fosfato de Gafsa	27	8	87	65	17
Fosfato de Araxá	27	8	75	69	16
Valor F	1,30 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,59 ^{ns}	2,06 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)					
0	27	9	74	69	19
90	26	8	93	68	18
180	26	9	71	71	14
360	26	8	75	66	14
Valor F	0,26 ^{ns}	1,97 ^{ns}	2,02 ^{ns}	1,01 ^{ns}	2,71 ^{ns}
Torta de filtro (T)					
Com	26	9	77	66	17
Sem	27	8	80	70	15
Valor F	1,30 ^{ns}	3,39 ^{ns}	0,18 ^{ns}	3,36 ^{ns}	2,03 ^{ns}
Interações					
Int F x D	0,94 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Int F x T	0,03 ^{ns}	1,94 ^{ns}	4,42 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Int D x T	1,12 ^{ns}	3,63*	2,11 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,73 ^{ns}
Int F x D x T	0,39 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,48 ^{ns}
CV (%)	18,3	27,7	39,4	13,2	44,4

ns= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

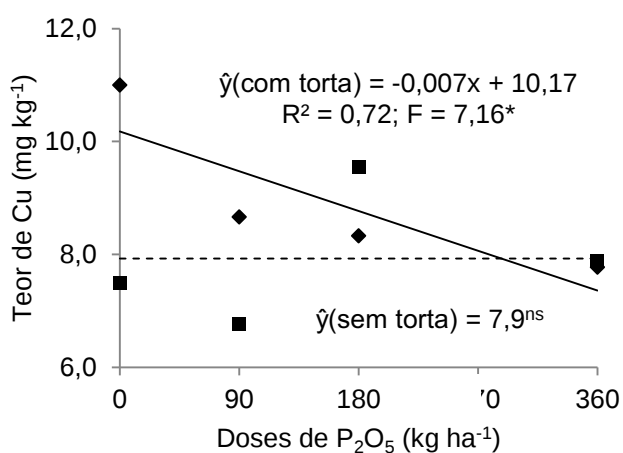


Figura 40. Teores de cobre nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 120 DAR em Santa Albertina-SP, 2014.

É importante salientar que foi aplicado o teste de correlação entre as variáveis e foi verificado que o teor de P avaliado nas folhas da primeira soqueira de cana-de-

açúcar no LVAd aos 120 DAR obteve correlação significativa com as variáveis comprimento do colmo aos 300 DAR ($r = 0,32^{**}$), acúmulo de P total ($r = 0,24^*$), ATR ($r = -0,26^*$) e teor de P avaliado aos 240 DAR ($r = 0,36^{**}$).

6.2.3 Estado nutricional da cana-de-açúcar aos 240 DAR

6.2.3.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

A aplicação de torta de filtro promoveu incremento e decréscimo nos teores de Ca e K nas folhas da primeira soqueira de cana-de-açúcar, respectivamente. Porém, apesar do efeito significativo detectado pela estatística o valor agrônômico destas alterações é pouco expressivo, uma vez que dá-se na ordem de casas decimais (Tabela 26).

Os teores de N, P, Mg e S estão abaixo da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997), já os teores de K e Ca são considerados adequados.

O teste de correlação detectou significância positiva para o teor de P avaliado aos 240 DAR no PVAe para as seguintes variáveis: P-res na profundidade de 0-20 cm ($r = 0,24^*$), acúmulo de P nos colmos ($r = 0,30^*$) e acúmulo de P total ($r = 0,29^*$).

Tabela 26. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 240 DAR, no município de Santa Adélia-SP, 2014.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes de P (F)	----- g kg ⁻¹ -----					
Superfosfato Triplo	14,8	1,3	10,4	3,2	0,9	1,3
Fosfato de Gafsa	14,6	1,2	10,2	3,3	0,9	1,4
Fosfato de Araxá	14,7	1,3	10,1	3,3	0,9	1,4
Valor F	0,95 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	15,1	1,2	10,5	3,1	0,9	1,3
90	14,6	1,3	10,3	3,2	0,9	1,4
180	14,6	1,2	10,1	3,3	0,9	1,4
360	14,5	1,4	10,0	3,5	1,0	1,4
Valor F	2,54 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,46 ^{ns}	1,52 ^{ns}	1,94 ^{ns}	1,87 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	14,8	1,4	10,0b	3,4a	0,9	1,4
Sem	14,7	1,2	10,4a	3,1b	0,9	1,3
Valor F	0,36 ^{ns}	3,69 ^{ns}	5,06*	6,31*	4,32*	0,48 ^{ns}
Interações						
Int F x D	1,66 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Int F x T	0,23 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Int D x T	1,16 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,56 ^{ns}	3,78*
Int F x D x T	0,42 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,47 ^{ns}
CV (%)	4,4	27,1	7,4	17,4	13,3	8,3

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Houve efeito da interação entre doses de P₂O₅ e torta de filtro sobre o teor de Mn na folha diagnóstica, verifica-se que quando foi aplicada a torta de filtro houve acréscimo no teor do nutriente nas folhas com ajuste linear, por outro lado, na ausência da torta, o efeito foi o contrário, com decréscimo no teor do nutriente com ajuste linear à medida que se aumenta as doses de P aplicadas (Figura 41).

Tabela 27. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 240 DAR, no município de Santa Adélia-SP, 2014.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fontes de P (F)	----- mg kg ⁻¹ -----				
Superfosfato Triplo	13	31	103	45	19
Fosfato de Gafsa	14	30	102	44	17
Fosfato de Araxá	14	30	103	44	18
Valor F	1,06 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,26 ^{ns}	2,46 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)					
0	15	30	102	44	19
90	13	29	102	44	18
180	14	32	102	45	18
360	13	31	104	45	17
Valor F	2,81 ^{ns}	2,77 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,65 ^{ns}
Torta de filtro (T)					
Com	14a	31	101	42b	18
Sem	13b	30	105	47a	19
Valor F	7,23*	0,01 ^{ns}	1,45 ^{ns}	12,77**	1,25 ^{ns}
Interações					
Int F x D	0,31 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,80 ^{ns}	0,48 ^{ns}
Int F x T	0,45 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,90 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,40 ^{ns}
Int D x T	0,36 ^{ns}	0,33 ^{ns}	2,03 ^{ns}	5,11**	0,99 ^{ns}
Int F x D x T	0,56 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,58 ^{ns}
CV (%)	19,6	9,9	13,6	13,5	14,5

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

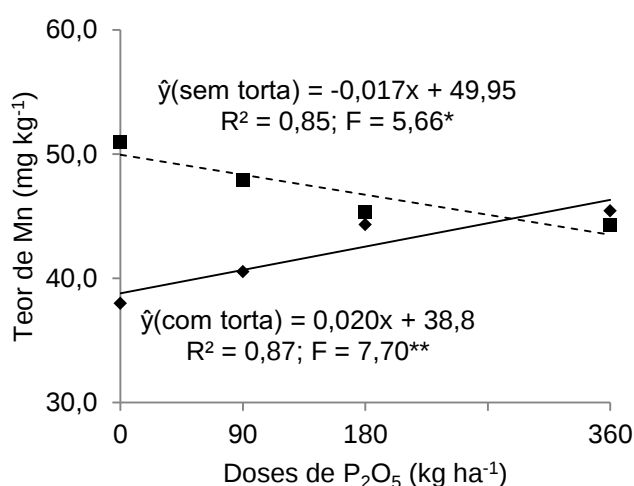


Figura 41. Teores de manganês nas folhas de cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 240 DAR em Santa Adélia-SP, 2014.

Para Orlando Filho (1992) altos valores de pH do solo limitam a disponibilidade de manganês para a planta. A deficiência também está associada com altos teores de magnésio, cálcio e nitrogênio no solo. Santos (2012) verificou que na soqueira de cana-se-açúcar, o teor de Mn na folha diagnóstica 7 meses após a brotação foi reduzido em função da aplicação de doses crescentes de torta de filtro, porém, não houve efeito para as doses de fosfato aplicadas (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹)

6.2.3.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

Verifica-se na Tabela 28 que a presença de torta de filtro elevou os teores de P e Mg na folha diagnóstica. Entretanto, os teores de N e P estão abaixo da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997). Os demais teores de nutrientes são considerados adequados.

Tabela 28. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 240 DAR, no município de Santa Albertina-SP, 2014.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes de P (F)	----- g kg ⁻¹ -----					
Superfosfato Triplo	14,4	1,3	9,9	3,7	1,2	1,1
Fosfato de Gafsa	14,0	1,3	9,8	3,7	1,1	1,1
Fosfato de Araxá	14,2	1,3	10,2	3,7	1,2	1,0
Valor F	1,14ns	0,23ns	2,01ns	0,01ns	1,87ns	3,56*
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	14,6	1,3	10,2	3,7	1,2	1,0
90	14,1	1,3	9,9	3,5	1,2	1,1
180	13,7	1,3	9,8	3,8	1,2	1,0
360	14,5	1,3	9,9	3,8	1,2	1,1
Valor F	2,64ns	2,40ns	1,21ns	0,60ns	0,17ns	3,55*
Torta de filtro (T)						
Com	14,1	1,3 a	9,9	3,7	1,2 a	1,1
Sem	14,4	1,2 b	10,0	3,7	1,1 b	1,0
Valor F	1,11ns	15,61**	0,06 ^{ns}	0,13ns	13,34**	3,63ns
Interações						
Int F x D	1,27ns	0,81ns	1,82ns	1,14ns	0,68ns	1,42ns
Int F x T	0,54ns	0,20ns	1,27ns	0,01ns	1,72ns	0,95ns
Int D x T	0,09ns	1,09ns	2,05ns	1,97ns	1,15ns	0,41ns
Int F x D x T	0,32ns	1,09ns	0,78ns	1,86ns	0,49ns	0,32ns
CV (%)	7,0	7,2	6,7	23,6	13,9	7,3

ns= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Os tratamentos aplicados não apresentaram efeitos nas concentrações de micronutrientes na primeira soqueira no LVAd (Tabela 29).

Tabela 29. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 240 DAR, no município de Santa Albertina-SP, 2014.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fontes de P (F)	----- mg kg ⁻¹ -----				
Superfosfato Triplo	15	29	93	58	16
Fosfato de Gafsa	15	28	86	51	16
Fosfato de Araxá	16	28	88	55	17
Valor F	1,73 ^{ns}	2,71 ^{ns}	1,53 ^{ns}	3,03 ^{ns}	1,27 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)					
0	16	29	84	52	16
90	16	28	92	57	17
180	15	28	89	56	16
360	15	28	90	53	16
Valor F	0,80 ^{ns}	1,79 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Torta de filtro (T)					
Com	16	29	91	55	16
Sem	15	28	87	54	16
Valor F	0,63 ^{ns}	1,35 ^{ns}	2,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Interações					
Int F x D	1,13 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,08 ^{ns}	3,35 ^{ns}
Int F x T	0,85 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,90 ^{ns}
Int D x T	1,42 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Int F x D x T	0,61 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,72 ^{ns}
CV (%)	13,1	6,4	14,8	18,0	8,9

ns= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Houve correlação entre o teor de P nas folhas da primeira soqueira de cana-de-açúcar, avaliada aos 240 DAR no LVAd, e o comprimento do colmo aos 300 DAR ($r = 0,35^{**}$), acúmulo de P nos colmos ($r = 0,43^{**}$), acúmulo de P total ($r = 0,30^{**}$), ATR ($r = -0,56^{**}$) e teor de P nas folhas aos 120 DAR ($r = 0,36^{**}$).

6.2.4 Componentes e produção de colmos e palhada

6.2.4.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

As variáveis produtivas número de colmos por metro, acúmulo de P na palhada, colmos e total e produção de palhada e de colmos foram influenciadas pela interação entre doses de P_2O_5 e torta de filtro. Também houve interação da fonte de P e dose de P_2O_5 para o acúmulo de P na palhada e total. As doses de P também afetaram isoladamente o comprimento dos colmos (Tabela 30).

Tabela 30. Número de colmos por metro (NC), comprimento do colmo (CC); produção de colmos e palhada; acúmulo de P nos colmos, palhada e total em ARGISSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico (PVAe) cultivado com cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 300 DAR, no município de Santa Adélia-SP, 2014.

	NC	CC	Acúmulo de P			Produção	
			Palhada	Colmo	Total	Palhada	Colmos
Fontes de P (F)		-- cm --	-----	kg ha ⁻¹	-----	-----	t ha ⁻¹
Superfosfato triplo	16,1	183,7	11,1	16,5b	27,6b	23,6	94,6
Fosfato de Gafsa	16,6	187,6	9,9	23,1a	33,1a	23,8	89,9
Fosfato de Araxá	16,5	189,6	10,1	11,2c	21,3c	22,4	89,2
Valor F	0,18 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,40 ^{ns}	24,07**	14,68**	0,35 ^{ns}	0,48 ^{ns}
Doses P_2O_5 (D)							
0	14,2	169,5	7,1	11,6	18,6	20,4	74,5
90	18,1	191,5	10,9	15,3	26,2	23,9	87,8
180	16,9	191,3	10,7	20,2	30,9	24,1	99,8
360	16,4	195,5	13,0	20,7	33,7	24,6	102,8
Valor F	5,69**	3,08*	4,86**	9,46**	13,76**	1,65 ^{ns}	7,16**
Torta de filtro(T)							
Com	16,7	193,2	11,4	22,4a	33,7a	23,2	100,2a
Sem	16,1	180,7	9,4	11,5b	20,9b	23,4	82,3b
Valor F	0,85 ^{ns}	3,43 ^{ns}	3,03 ^{ns}	59,26**	51,93**	0,02 ^{ns}	13,80**
Interações							
Int F x D	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,38 ^{ns}	21,41**	14,30**	0,42 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Int F x T	0,82 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,88 ^{ns}	3,10 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,79 ^{ns}
Int D x T	3,33**	2,67 ^{ns}	4,11*	5,43**	5,25**	2,90*	4,48**
Int F x D x T	1,01 ^{ns}	1,05 ^{ns}	2,91 ^{ns}	11,12**	3,83**	1,57 ^{ns}	3,31 ^{ns}
CV (%)	17,9	15,3	45,5	35,2	27,5	27,4	22,4

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Quando aplicada torta de filtro na dose 0 de P (controle) o NC foi menor, entretanto, nas demais doses de P o NC foi igual tanto na presença como ausência do composto. Verifica-se que houve ajuste com comportamento quadrático no número de colmos por metro, quando presente a torta de filtro, entretanto, quando não foi aplicada a torta as doses de P não interferiram na variável (Figura 42).

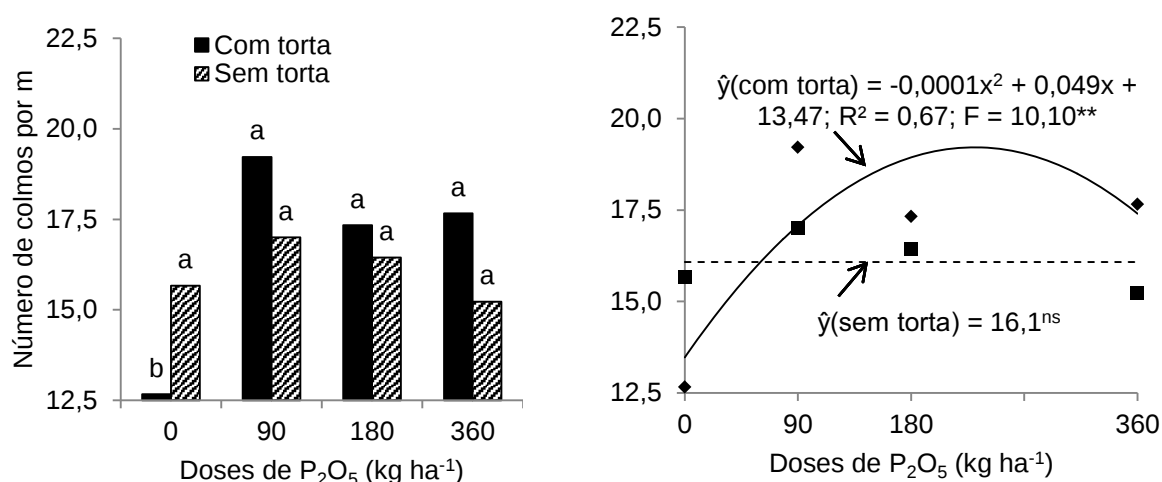


Figura 42. Número de colmos de cana-de-açúcar por metro em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 300 DAR em Santa Adélia-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o comprimento de colmos verifica-se que houve incremento na variável com ajuste quadrático com a aplicação de doses crescentes de P na ausência de torta de filtro. No entanto, não houve ajuste na variável quando aplicada torta de filtro (Figura 43).

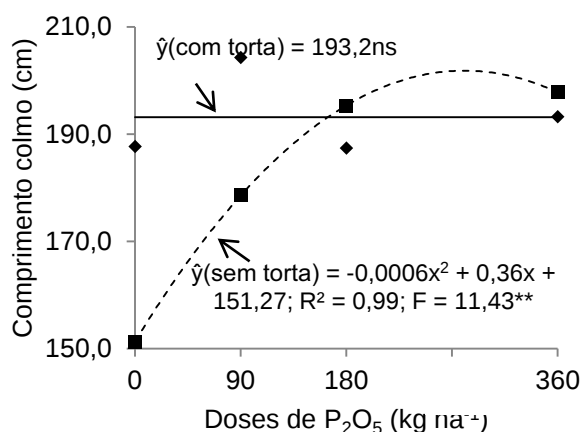


Figura 43. Comprimento de colmos de cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 300 DAR em Santa Adélia-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve incremento no acúmulo de P na palhada sem a aplicação de P (dose 0) na ausência de torta de filtro, nas demais doses não foi verificada diferença para a torta. Ocorreu incremento no acúmulo de P na palhada com ajuste quadrático na presença de torta de filtro. Na ausência do composto não foi verificada diferença no parâmetro (Figura 44).

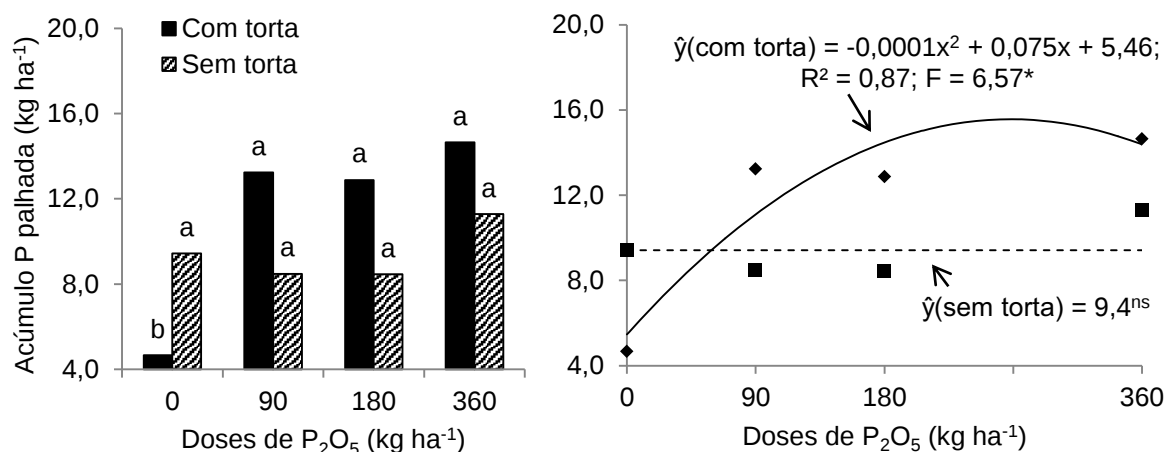


Figura 44. Acúmulo de P na palhada de cana-de-açúcar em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 300 DAR em Santa Adélia-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas doses 90 e 180 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 o maior acúmulo de P no colmo e total foram obtidos através do uso de Fosfato de Gafsa, entretanto, na maior dose (360 $kg\ ha^{-1}$) o maior acúmulo nos colmos e total foi obtido pelo uso de SFT (Figuras 45A e 45C). Houve incremento no acúmulo de P nos colmos e total com ajuste linear para o SFT atingindo o maior acúmulo de P no colmo e total na maior dose aplicada (360 $kg\ ha^{-1}$) igual a 31,0 e 45,6 $kg\ ha^{-1}$ de P; e quadrático para o Fosfato de Gafsa atingindo o maior acúmulo de P no colmo e total igual a 35,7 e 49,9 $kg\ ha^{-1}$ de P com uso da dose de 192,1 e 216,4 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . No entanto, quando empregado Fosfato de Araxá não houve efeito significativo na variável mencionada (Figuras 45B e 45D).

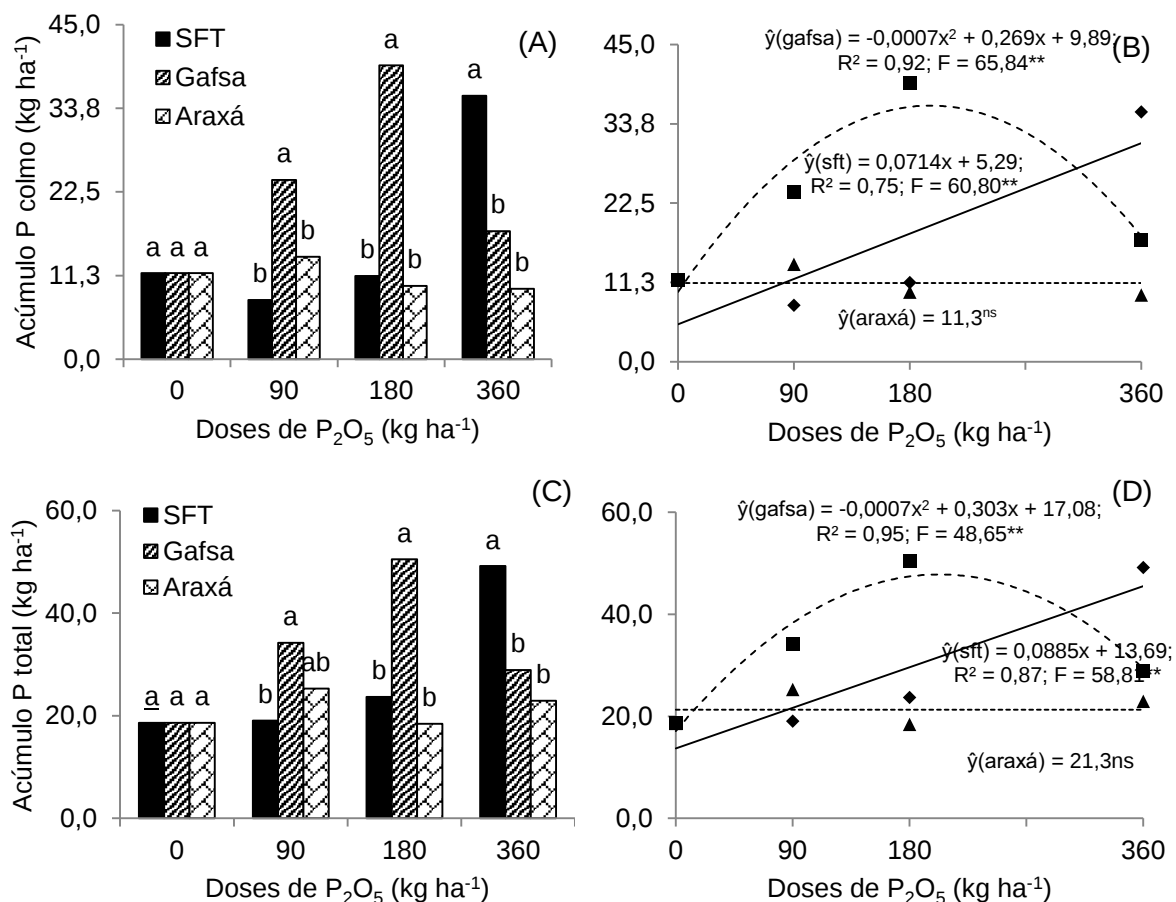


Figura 45. Acúmulo de P no colmo e total em cana-de-açúcar em função das fontes de P e doses de P₂O₅, 300 DAR em Santa Adélia-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas doses zero de P (controle), 90 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o acúmulo de P no colmo e total foi maior quando presente a torta de filtro (Figuras 46A e 46C). Houve incremento com ajuste linear no acúmulo de P no colmo e total na presença da torta de filtro, atingindo o maior valor igual a 29,2 e 45,2 kg ha⁻¹ de P, respectivamente, com uso da maior dose (360 kg ha⁻¹). Na ausência de torta, o incremento foi quadrático para o acúmulo de P no colmo, atingindo maior valor de 17,9 kg ha⁻¹ de P com a dose de 252,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Para o acúmulo de P total houve ajuste linear crescente, quando ausente a torta de filtro, atingindo o maior acúmulo igual a 25,5 kg ha⁻¹ de P com uso da maior dose (360 kg ha⁻¹ de P₂O₅) (Figuras 46B e 46D).

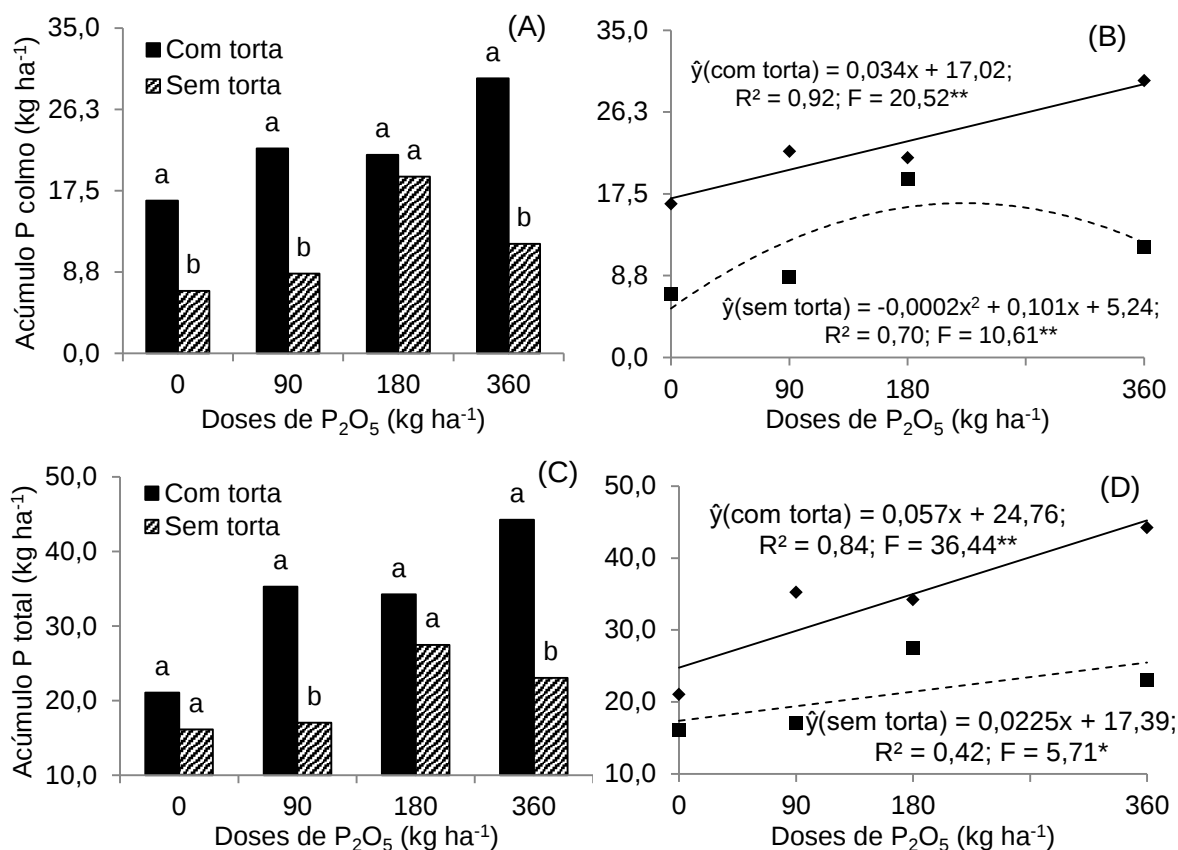


Figura 46. Acúmulo de P no colmo e total em cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 300 DAR em Santa Adélia-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na dose zero de P a produção de palhada foi maior quando ausente a torta de filtro, ao contrário da produção de colmos, que, na dose mencionada foi maior quando presente a torta. Na dose 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a produção de palhada e colmos foi maior quando estava associada à torta de filtro. Nas demais doses não houve diferença significativa (Figura 47A e 47C). Houve ajuste quadrático na produção de palhada e colmos na ausência de torta de filtro, quando aplicadas doses crescentes de P, atingindo maior produção de palhada e de colmos iguais a 25,4 e 106,5 t ha⁻¹ com as doses de 187,5 e 296,7 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente; na presença de torta não houve ajuste para as variáveis mencionadas (Figura 47B e 47D).

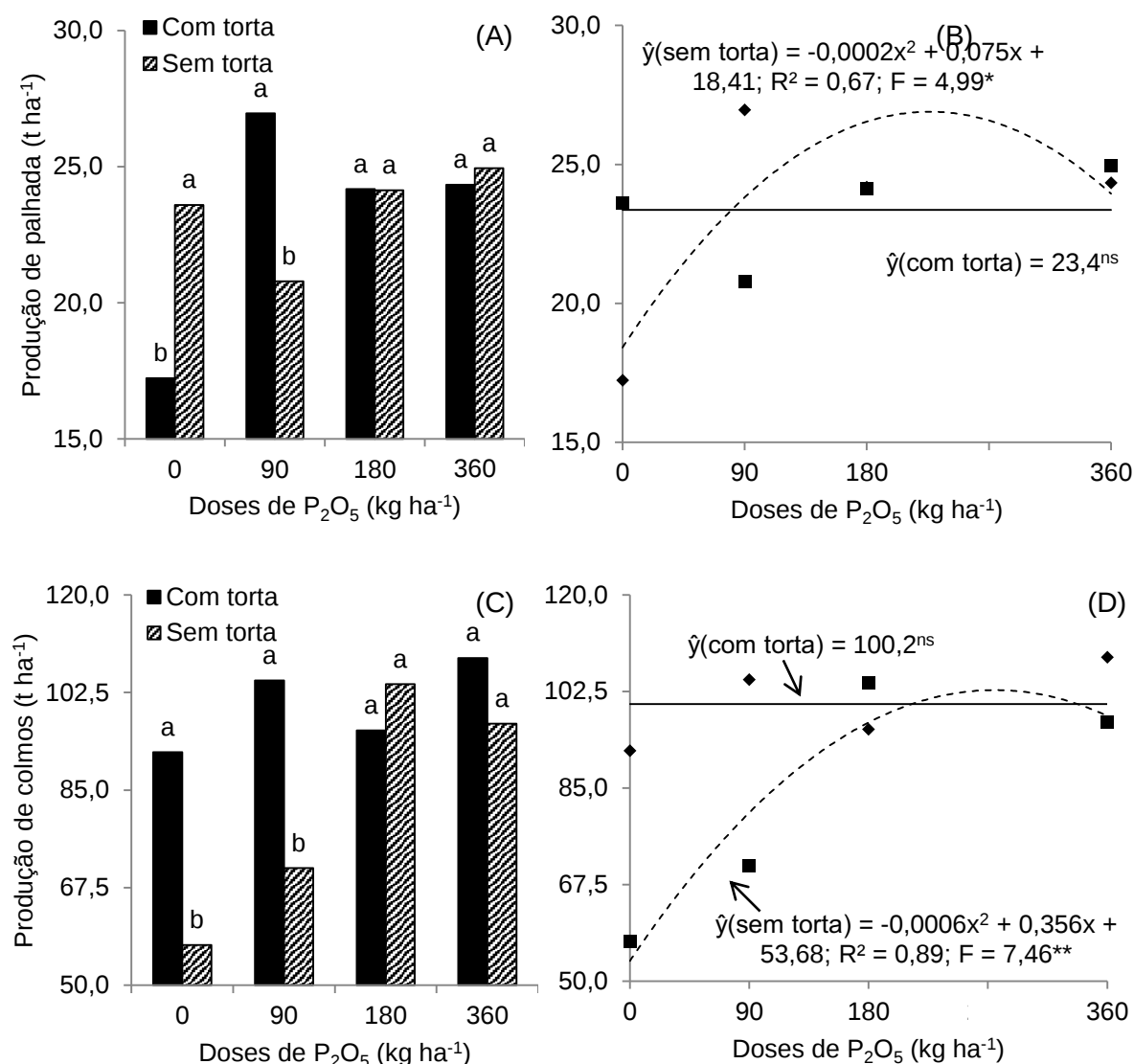


Figura 47. Produção de palhada e colmos de cana-de-açúcar em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 300 DAR em Santa Adélia-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teste de correlação aplicado para a produção de colmos na primeira soqueira no PVAe mostrou-se significativo com as seguintes variáveis: P-res nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm ($r = 0,31^{**}$ e $r = 0,36^{**}$, respectivamente), comprimento do colmo ($r = 0,51^{**}$), acúmulo de P nos colmos ($r = 0,33^{**}$), produção de palhada ($r = 0,55^{**}$), acúmulo de P na palhada ($r = 0,42^{**}$), acúmulo de P total ($r = 0,46^{**}$), número de colmos por metro ($r = 0,40^{**}$), teor de P na folha diagnóstica aos 120 DAR ($r = 0,32^{**}$).

Pode-se observar, desta forma, que a associação de torta de filtro com o P-fertilizante no sulco de plantio da cana-de-açúcar no PVAe promove incremento das variáveis produtivas (NC, CC, acúmulo de P na palhada, colmos e total e produção de palhada e colmos) com o aumento da dose do nutriente na primeira soqueira da cana-de-açúcar, apresentando efeito residual. A importância da aplicação de fontes orgânicas associadas ao fertilizante mineral já foram discutidas anteriormente (BOKHTIAR et al., 2008; CAIONE et al., 2011; DEVI et al., 2012), sendo que a associação entre fertilizantes inorgânicos e orgânicos é importante pois conserva a fertilidade do solo e aumenta os rendimentos da cultura da cana.

Verifica-se que a irregularidade na precipitação favoreceu o efeito da torta de filtro neste tipo de solo, aumentando o efeito benéfico da torta de filtro, no que tange a capacidade de retenção de água (NARDIN, 2007).

Além disso, a aplicação de diferentes fontes de P apresentou comportamento distinto no acúmulo de P nos colmos e total neste solo, evidenciando que o emprego de fontes distintas pode promover alterações na extração do nutriente P, sem contudo, alterar a produção da cultura na primeira soqueira. Sabe-se que os fosfatos naturais brasileiros (Araxá, Patos de Minas, Catalão, entre outros), possuem dissolução no solo muito lenta, sobretudo em condições de acidez corrigida (pH em água em torno de 6,0), tendo eficiência agrônômica reduzida, em relação aos fosfatos solúveis em água, nos primeiros anos depois da aplicação. Por outro lado, os fosfatos naturais sedimentares de alta reatividade (FNR), como de Carolina do Norte, Gafsa entre outros, já foram utilizados amplamente e sabe-se que sua eficiência, quando aplicado até mesmo à lanço e incorporado em solos com pH em água inferior a 6,0 é similar à dos fosfatos solúveis em água já no primeiro ano de aplicação (SOUSA; LOBATO, 2003).

Neste sentido, são importantes as avaliações de resposta da cultura ao efeito residual da aplicação de P associado à torta de filtro, em diversas fontes e doses nos ciclos posteriores.

6.2.4.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

Houve interação das doses de P e torta de filtro para o número de colmos por metro e produção de colmos. A interação entre fontes e doses de P foi significativa para o acúmulo de P na palhada, colmos e total, assim como a interação entre fontes de P e torta de filtro (Tabela 31).

Tabela 31. Número de colmos por metro (NC), comprimento do colmo (CC); produção de colmos e palhada; acúmulo de P nos colmos, palhada e total em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (LVAd) cultivado com cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, 300 DAR, no município de Santa Albertina-SP, 2014.

	NC	CC	Acúmulo de P			Produção	
			Palhada	Colmo	Total	Palhada	Colmo
Fontes de P(F)		-- cm --	-----	kg ha ⁻¹	-----	-----	t ha ⁻¹
Superfosfato triplo	21,5	244,8	13,8	15,7	29,4	30,8	156,4
Fosfato de Gafsa	21,4	245,6	13,5	13,8	27,4	30,7	154,1
Fosfato de Araxá	21,8	245,3	16,1	14,6	30,7	32,6	157,2
Valor F	0,06 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,70 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Doses P ₂ O ₅ (D)							
0	21,0	243,3	12,6	14,1	26,7	28,8	147,4
90	21,7	245,0	12,2	14,4	26,6	31,2	155,0
180	21,8	247,7	16,2	14,4	30,5	31,9	154,0
360	21,9	245,0	17,0	16,0	32,9	33,6	167,2
Valor F	0,19 ^{ns}	0,23 ^{ns}	6,19 ^{**}	0,95 ^{ns}	4,43 ^{**}	1,27 ^{ns}	1,06 ^{ns}
Torta de filtro(T)							
Com	21,7	242,1	14,8	15,9a	30,7a	29,9	151,9
Sem	21,5	248,4	14,1	13,5b	27,7b	32,8	159,9
Valor F	0,02 ^{ns}	2,74 ^{ns}	0,46 ^{ns}	7,11 [*]	4,17 [*]	2,65 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Interações							
Int F x D	1,07 ^{ns}	0,45 ^{ns}	2,86 [*]	2,68 [*]	3,66 ^{**}	1,48 ^{ns}	1,35 ^{ns}
Int F x T	1,27 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,87 ^{ns}	5,67 ^{**}	4,16 [*]	1,76 ^{ns}	2,76 ^{ns}
Int D x T	5,80 ^{**}	1,96 ^{ns}	0,73 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,60 ^{ns}	2,38 ^{ns}	3,66 [*]
Int F x D x T	0,35 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,77 ^{ns}
CV (%)	18,4	6,6	28,9	25,7	21,6	23,9	21,8

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Na dose 0 (sem aplicação de P) a presença de torta de filtro promoveu maior NC por metro na cultura, no entanto, na maior dose o maior valor foi obtido na ausência do composto. Observa-se que houve ajuste linear decrescente no NC

quando presente a torta de filtro e ajuste linear crescente na ausência da torta à medida que elevou-se as doses de P (Figura 48).

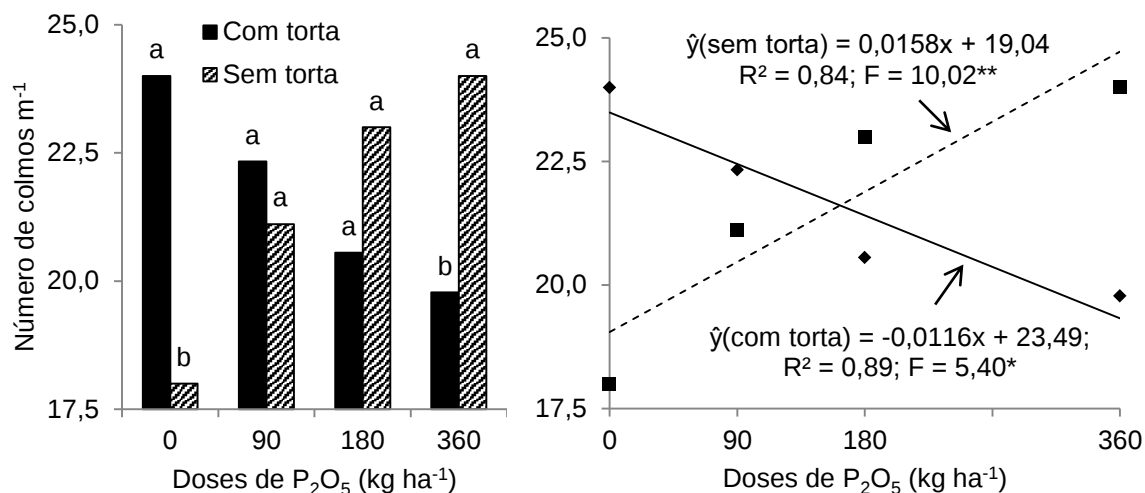


Figura 48. Número de colmos de cana-de-açúcar por metro em função das doses de P_2O_5 e torta de filtro, 300 DAR em Santa Albertina-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de P na palhada, colmo e total diferiu entre as fontes na dose de 180 e 360 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , sendo que na palhada o maior acúmulo foi constatado quando utilizado o Fosfato de Araxá; no colmo quando empregado o SFT e no total acumulado de P o maior acúmulo foi verificado quando utilizado Fosfato de Araxá e SFT. Houve incremento com ajuste linear do acúmulo de P na palhada, colmos e total, quando empregado o Fosfato de Araxá, no entanto, quando empregado os demais fertilizantes não houve ajustes significativos (Figura 49).

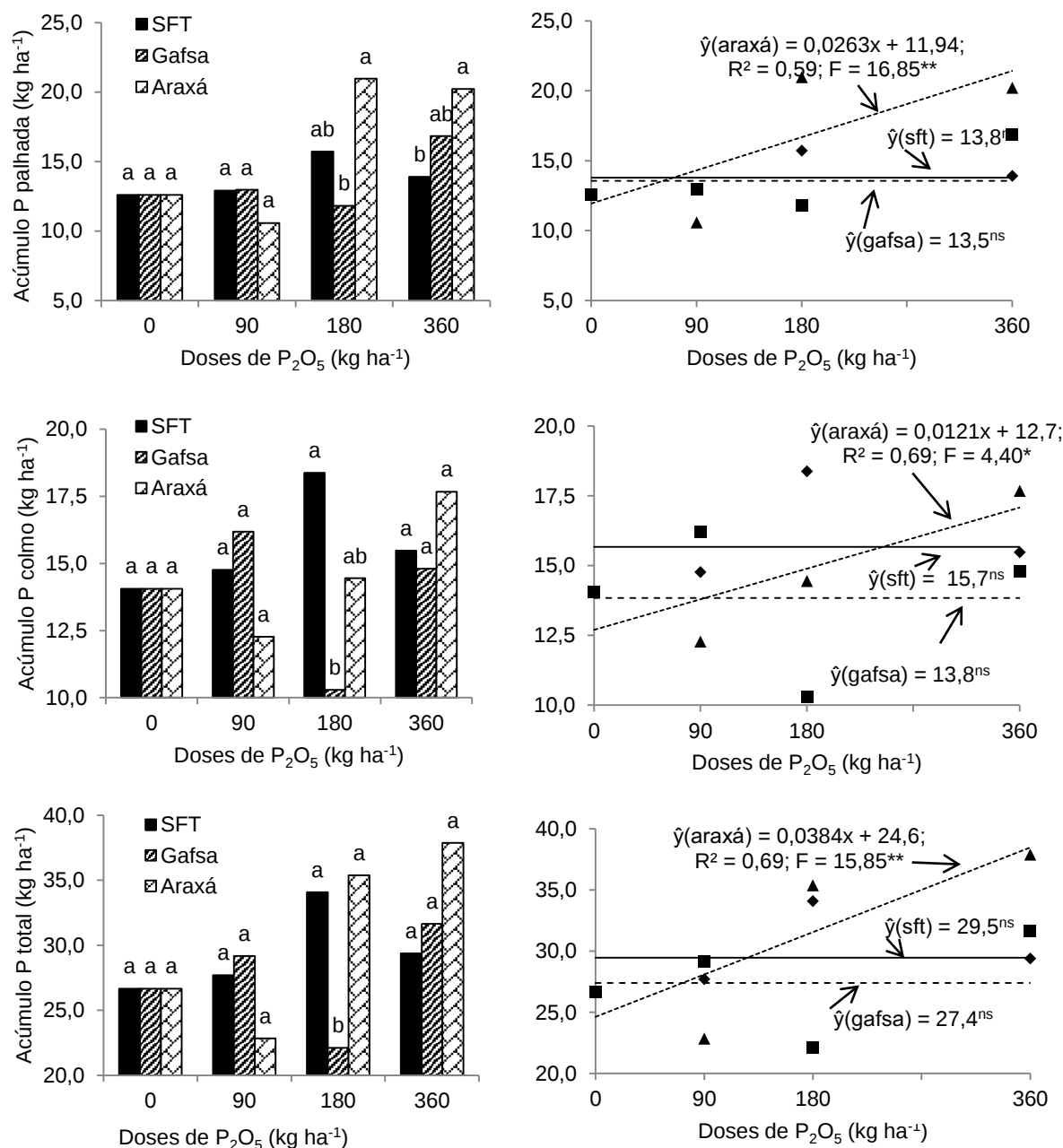


Figura 49. Acúmulo de P na palhada, colmo e total em cana-de-açúcar em função das fontes de P e doses de P₂O₅, 300 DAR em Santa Albertina-SP, 2014. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve incremento no acúmulo de P no colmo e total para o Fosfato de Gafsa e de Araxá, quando presente a torta de filtro. Na ausência da torta verifica-se que houve melhor desempenho com uso do SFT (Figura 50).

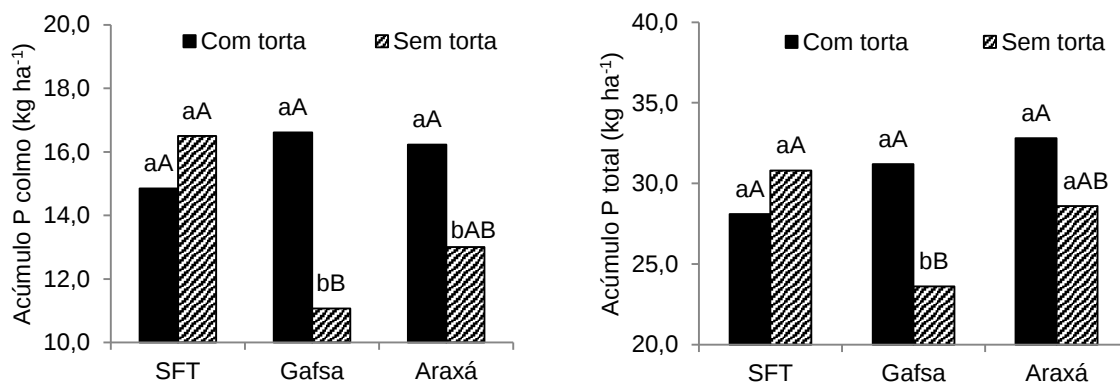


Figura 50. Acúmulo de P no colmo e total em cana-de-açúcar em função das fontes de P e torta de filtro, 300 DAR em Santa Albertina-SP, 2014. Médias seguídas pela mesma letra minúscula para a torta dentro de cada fonte e maiúscula para as fontes dentro da torta não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na ausência de torta de filtro a produção de colmos foi maior quando aplicada a maior dose de P (360 kg ha⁻¹ de P₂O₅), nas demais doses não houve diferenças entre a ausência ou presença do composto. Houve incremento da produção de colmos com ajuste linear na ausência de torta de filtro com o aumento das doses de P atingindo maior produção igual a 189,8 t ha⁻¹ com a maior dose aplicada (360 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na presença da torta as doses não se ajustaram a qualquer modelo, sendo não significativo na primeira soqueira de cana-de-açúcar no LVAd (Figura 51).

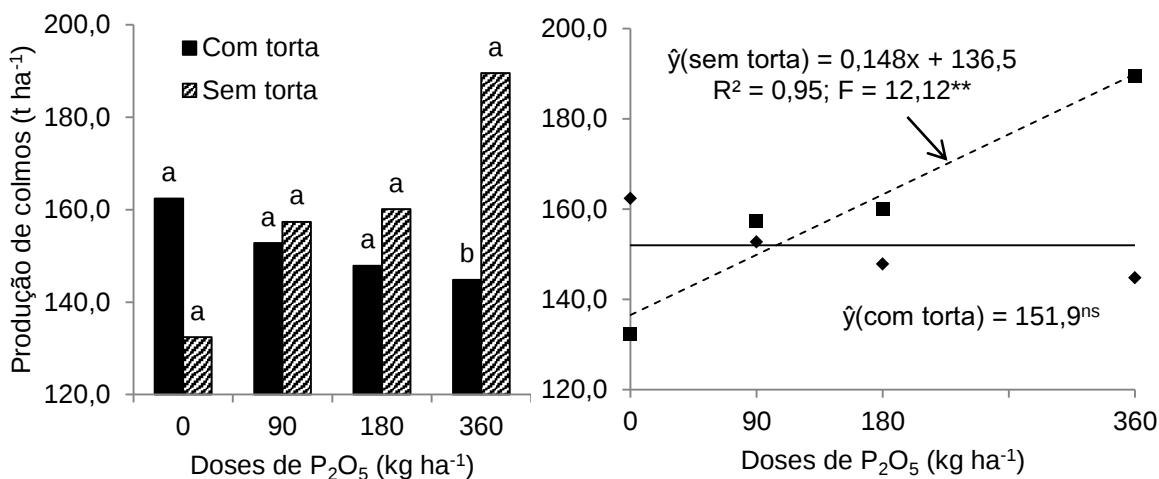


Figura 51. Produção de colmos de cana-de-açúcar por metro em função das doses de P₂O₅ e torta de filtro, 300 DAR em Santa Albertina-SP, 2014. Médias seguídas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi aplicado o teste de correlação entre a produção de colmos na primeira soqueira de cana-de-açúcar no LVAd e, as demais variáveis, sendo detectadas as seguintes correlações entre: comprimento dos colmos aos 300 DAR ($r = 0,43^{**}$), acúmulo de P nos colmos ($r = 0,84^{**}$), produção de palhada ($r = 0,86^{**}$), acúmulo de P na palhada ($r = 0,41^{**}$), acúmulo de P total ($r = 0,77^{**}$), número de colmos por metro ($r = 0,82^{**}$).

As variáveis produtivas (NC e produção de colmos) mostraram efeito significativo da associação entre torta de filtro e P-fertilizante no LVAd na primeira soqueira da cultura, entretanto, neste solo, a torta de filtro promoveu redução no número de colmos industrializáveis por metro, com o aumento das doses de P. Entretanto, em relação à produção de colmos não foi verificado efeito significativo da associação torta e P.

Por outro lado, a aplicação de fosfato de Araxá mostrou-se importante no acúmulo do nutriente nas diferentes partes da planta. Ainda houve efeito da associação da torta de filtro com o Fosfato de Gafsa e Araxá no acúmulo de P nos colmos e total da cultura, sem contudo, refletir na produção de colmos na primeira soqueira da cultura. Neste sentido, Ernani, Steckling e Bayer (2001) verificaram bom comportamento do fosfato de Arad para aumentar o rendimento da massa seca de milho em solo sem correção (pH em H₂O igual a 4,7), comparado ao solo corrigido (pH em H₂O igual a 5,7), devido à maior dissolução do fosfato natural em condições de baixo pH. Além disso, salienta-se que no Latossolo existe maior teor de argila representada pelos óxidos de Fe e Al que, possivelmente poderiam aumentar a adsorção de P providos de fontes prontamente solúveis. Salienta-se, por fim, que o cálculo da dose foi com base no teor solúvel do fertilizante, sendo que a reação do fertilizante no solo ao longo do tempo pode vir a disponibilizar o seu conteúdo total; sendo assim, seriam favorecidos os tratamentos que receberam fosfato de Araxá, pois, o mesmo possui apenas 4% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico e 24% de P₂O₅ total.

6.2.5 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

6.2.5.1 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico – PVAe (Santa Adélia)

Não houve diferença nas variáveis qualitativas do caldo da primeira soqueira da cana-de-açúcar no PVAe, em função dos tratamentos aplicados no plantio da cultura (Tabela 32).

Tabela 32. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, no município de Santa Adélia-SP, 2014.

	Brix	Pol	Pureza	Fibra	Pcc	ATR
Fontes de P (F)	----- % -----					kg t ⁻¹
Superfosfato triplo	21,5	18,6	86,5	11,6	16,1	158,3
Fosfato de Gafsa	21,5	18,5	86,0	11,6	15,9	157,3
Fosfato de Araxá	21,4	18,5	86,3	11,5	15,9	157,1
Valor F	0,14 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	21,5	18,8	87,3	11,4	16,2	159,4
90	21,3	18,3	86,0	11,5	15,8	155,9
180	21,4	18,3	85,3	11,7	15,7	155,6
360	21,7	18,8	86,6	11,6	16,2	159,4
Valor F	0,53 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,89 ^{ns}	2,91 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,05 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	21,4	18,6	86,5	11,5	16,0	157,7
Sem	21,5	18,5	86,1	11,6	16,0	157,4
Valor F	0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Interações						
Int F x D	0,80 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,78 ^{ns}
Int F x T	0,01 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,76 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Int D x T	0,55 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,59 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,76 ^{ns}
Int F x D x T	0,64 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,71 ^{ns}
CV (%)	4,5	6,2	3,0	3,0	6,2	5,6

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

6.2.5.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – LVAd (Santa Albertina)

Os parâmetros brix, pol da cana, pol da cana corrigido e ATR foram maiores na ausência de aplicação de torta de filtro na primeira soqueira da cana-de-açúcar cultivada em LVAd (Tabela 33).

Tabela 33. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, variedade RB 855453, plantada com diferentes fontes e doses de fósforo, na presença e ausência de torta de filtro, no município de Santa Albertina-SP, 2014.

	Brix	Pol	Pureza	Fibra	Pcc	ATR
Fontes de P (F)	----- % -----					kg t ⁻¹
Superfosfato triplo	21,4	18,9	88,1	12,2	15,9	158,3
Fosfato de Gafsa	21,5	18,9	87,8	12,2	16,0	158,7
Fosfato de Araxá	21,7	19,2	88,4	12,4	16,1	160,0
Valor F	0,54 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,30 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ (D)						
0	21,2	18,6	87,7	12,3	15,7	155,7
90	21,7	19,2	88,3	12,3	16,2	160,6
180	21,6	19,1	88,2	12,3	16,1	159,8
360	21,7	19,1	88,1	12,2	16,1	160,0
Valor F	1,88 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,52 ^{ns}	1,59 ^{ns}
Torta de filtro (T)						
Com	21,2b	18,6b	87,7	12,3	15,7b	155,9b
Sem	21,9a	19,4a	88,5	12,2	16,3a	162,2a
Valor F	13,79 ^{**}	11,57 ^{**}	3,88 ^{ns}	0,96 ^{ns}	12,00 ^{**}	12,42 ^{**}
Interações						
Int F x D	0,84 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,76 ^{ns}
Int F x T	2,07 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,55 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,19 ^{ns}
Int D x T	0,81 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,90 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Int F x D x T	0,76 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,68 ^{ns}
CV (%)	3,7	5,0	1,8	3,6	5,1	4,8

^{ns}= não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no teste de Tukey a 5%.

Como discutido anteriormente, existem resultados satisfatórios que relacionam a adubação fosfatada com a produtividade, sem contudo afetar a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar; e este efeito pode estar relacionado à influência de diversos fatores (clima, variedades e manejo do solo), prejudicando a avaliação do efeito de fertilizações minerais sobre os mesmos (PEREIRA et al., 1995).

Desta forma, Shankaraiah et al. (2000), Elsayed et al. (2008), Devi et al. (2012) e Rakkiyappan et al. (2001) relatam que a qualidade tecnológica está intimamente relacionada ao material genético, ainda que a adubação possa vir a melhorar, porém, de maneira menos eficaz.

7 CONCLUSÕES

A aplicação de doses de fósforo aumentou o teor do nutriente no solo, quando associado à torta de filtro melhorou o crescimento da cana, e a nutrição fosfatada elevando a produtividade de colmos.

A diagnose foliar mostrou-se eficiente nas duas épocas de amostragem, no entanto a atividade da fosfatase não mostrou-se importante para predispor o estado nutricional em P.

Os efeitos dos tratamentos foram semelhantes nos solos, entretanto, a produtividade do Argissolo foi maior que do Latossolo. No Argissolo o fosfato de Gafsa promoveu maior incremento na produção de colmos em cana-planta comparado com as demais fontes, atingindo 214 t ha^{-1} com 209 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o superfosfato triplo promoveu a produção de 190 t ha^{-1} com uso da maior dose (360 kg ha^{-1} de P_2O_5), independentemente da presença de torta de filtro. No Latossolo a produção de colmos aumentou 19,6% com a aplicação de P-fertilizante (360 kg ha^{-1} de P_2O_5) associado com torta de filtro atingindo produção de colmos igual a $188,2 \text{ t ha}^{-1}$.

A associação de P-fertilizante e torta de filtro aumentou a produção de cana-de-açúcar na primeira soqueira independentemente da fonte de P no Argissolo. No Latossolo o maior acúmulo de P nas diferentes partes da planta pelo Fosfato de Araxá comprova que a aplicação de uma fonte não convencional é promissora para os ciclos seguintes no sistema de colheita sem despalha a fogo, em Latossolo.

8 REFERÊNCIAS

- ABREU, M. F.; ABREU JUNIOR, C. H.; SILVA, F. C.; SANTOS, G. C. G.; ANDRADE, J. C.; GOMES, T. F.; COSCIONE, A. R.; ANDRADE, C. A. Análise química de fertilizantes orgânicos. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 397-488.
- ACHITUV, M.; BAR-AKIVA, A. Glutamic-oxaloacetic transaminase in leaves of phosphorus-efficient citrus plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 36, n. 4, p. 368-373, 1976. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1976.tb02258.x>>.
- AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphatesorption by cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, Philadelphia, v. 159, n. 3, p. 207-211, 1995.
- AGUILERA, M. S.; PINO, I. U.; REYES, C. P.; CAIOZZI, M. C. Effect of organic matter on soil availability of phosphorus, iron, copper and zinc in Osborne. **Agricultura Técnica**, Chillán, v. 52, n. 1, p. 423-425, 1992.
- 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, 1., 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1980. v. 2, p. 319-322.
- ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology: a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.
- ALLEONI, L. R. F.; BEAUCLAIR, E. G. F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 409-415, 1995. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161995000300001>>.
- ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V.; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1004-1013, 2011.
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo, SBCS**, Viçosa, v. 25, p. 27-32, 2000.
- ALVES, T. A. **Caracterização da cana-de-açúcar- perspectivas do setor sucroalcooleiro na região da Alta Noroeste Paulista**. Ilha Solteira: UNESP, 2004.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolo e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.

ANDRADE, L. A. B. Cultura da cana-de-açúcar In: _____. **Produção artesanal de cachaça de qualidade**. Lavras: UFLA, 2003.

ANJOS, I. A.; ANDRADE, L. A. B; GARCIA, J. C.; FIGUEIREDO, P. A. M.; CARVALHO, G. J. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 59-63, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000100009>>.

ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 9/10, p. 1553-1564, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00103629409369135>>.

BAHADUR, M. M.; ASHRAFUZZAMAN, M.; KABIR, M. A.; CHOWDHURY, M.F.; MAJUMDER, A. N. Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties to different levels of phosphorus. **Crop Research**, Hisar, v. 23, n. 2, p. 293–299, 2002.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat** - sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos – versão 1.0. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2011.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 49 p. (Boletim Técnico, 78).

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants**: development, visual and analytical diagnosis. Jena: Gustav Fischer, 1992. 741 p.

BESFORD, R. T. Phosphorus nutrition and acid phosphatase in the leaves of seven plant species. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 30, p. 281-285, 1979. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740300312>>.

BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, p. 225-252, 1973. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.001301>>.

BIELESKI, R. L.; FERGUNSON, J. B. **Physiology and metabolism of phosphate and its compounds**. In: PIRSON, A.; ZIMMERMANN, M. H. (Ed.). **Encyclopedia of plant physiology: inorganic plant nutrition**. Berlin, Springer Verlag, 1983. p. 4422-4490.

BOKHTIAR, S. M.; PAUL, G. C.; ALAM, K. M. Effects of organic and inorganic fertilizer on growth, yield, and juice quality and residual effects on ratoon crops of sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 10, p. 1832-1843, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.001301>>.

CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W. de; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S.; COSTA, J. P. V. da; LIMA, G. S. A.; ARISTIDES, E. V. dos. 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. 3, p. 34-37, 2011.

CAIONE, G. **Nutrição e produção da cana planta em Argissolo e Latossolo fertilizado com fontes de fósforo e torta de filtro**. 2013. 65 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

CAIONE, G.; FERNANDES, F. M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de fósforos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. **Agrária: revista brasileira de ciências agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 189-196, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2016>>.

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, 2011a.

CAIONE, G.; TEIXEIRA, M. T. R.; LANGE, A.; SILVA, A. F.; FERNANDES, F. M. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em latossolo vermelho amarelo. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2011b.

CAZETTA, J. O.; FONSECA, I. M.; PRADO, R. M. Perspectivas de uso de métodos diagnósticos alternativos: testes bioquímicos. In: PRADO, R. M. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/FAPESP/CAPES/FUNDUNESP, 2010. p. 109-134.

CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. CGEE. **Estudo de sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar – fase II - relatório técnico final**. Brasília: Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2010. 395 p.

CESAR, M. A. A.; SILVA, F. C. **A cana-de-açúcar de açúcar como matéria prima para a indústria sucroalcooleira**. Piracicaba: ESALQ, USP, 1993. 108 p.

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

CHABOT, R.; ANTOUN, H.; CESCAS, M. P. Stimulation de la croissance du maïs et de la laitue romaine par des microorganismes dissolvant le phosphore inorganique. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 39, n. 10, p. 941-947, 1993.

CLEMENTS, H. F. **Sugarcane crop logging and control**: principles and practices. London: Pitman Publishing, 1980. 520 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento se safra brasileira**: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2012. Brasília, 2013.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo. **Regulamento dos negócios de compra e venda de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**: manual de instruções. Piracicaba, 2006. 16 p.

CORRÊA, P. M. **Dicionário de plantas úteis do Brasil e das plantas exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1926. v. 1, cap. 13.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 64, n. 3-4, p. 197-214, 1995. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)00023-4](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(94)00023-4)>.

CRUZ, S. J. S.; OLIVEIRA, S. S. C.; CRUZ, S. C. S.; MACHADO, C. G.; PEREIRA, R. G. Efeito da adubação fosfatada sobre o acúmulo de biomassa e teor de brix de duas variedades de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 110-116, 2009.

DALAL, R. C. Soil organic phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 29, p. 83-117, 1977.

DEVI, T. C.; BHARATHALAKSHMI, M.; KUMARI, M. B. G. S.; NAIDU, N. V. Effect of sources and levels of phosphorus with zinc on yield and quality of sugarcane. **SugarTech**, Heidelberg, v. 14, n. 2, p. 195-198, 2012.

DUFF, S. M. G.; SARATH, G.; PLAXTON, W. C. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Physiologia Plantarum**, Zwieniecki, v. 90, n. 4, p. 791-800, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02539.x>>.

ELSAYED, M. T.; BABIKER, M. H.; ABDELMALIK, M. E.; MUKHTAR, O. N.; MONTANGE, D. Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 10, p. 4164-4168, 2008.

EL-TILIB, M. A.; ELNASIKH, M. H.; ELAMIN, E. A. Phosphorus and potassium fertilization effects on growth attributes and yield of two sugarcane varieties grown on three soil series. **Journal of Plant Nutrition**, Nova York, v. 27, n. 4, p. 663-699, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120030375>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306 p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: USP, 1975. 344 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 401 p.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000400017>>.

ESTEVES, A. A. Fisiologia de la caña de azucar. In: OSORIO, C. E. B. (Ed.). **El cultivo de la caña de azucar**. Cali: Tecniaca, 1986. p. 27-41.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, Nova York, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1081/PLN-100106981>>.

FANG, Z. Y.; SHAO, C.; MENG, Y. J.; WU, P.; CHEN, M. Phosphate signaling in *Arabidopsis* and *Oryza sativa*. **Plant Science**, Dublin, v. 176, p. 170-180, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.09.007>>.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FIXEN, P. E.; LUDWICK, A. E. Residual available phosphorus in near neutral and alkaline soils: I. Solubility and capacity relationships. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 332-334, 1982. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600020024x>>.

FONSECA, I. M. **Atributos químicos do solo, nutrição e produtividade da cana planta em função da aplicação de nitrogênio e de escória de siderurgia**. 2011. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2011.

GARCIA, M.; ASCENCIO, J. Root morphology and acid phosphatase activity in tomato plants during development of and recovery from phosphorus stress. **The Journal of Plant Nutrition**, Nova York, v. 15, n. 11, p. 2491-2503, 1992. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169209364489>>.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GAVA, G. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GICHANGI, E. M.; MNKENI, P. N. S.; BROOKES, P. C. Effects of goat manure and inorganic phosphate addition on soil inorganic and microbial biomass phosphorus fractions under laboratory incubation conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 55, n. 6, p. 764-771, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00415.x>>.

GOMES, J. F. F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**. 2003. 75 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GTCA. Grupo Técnico de Consultoria e Apoio. **Composição química da cana-de-açúcar**. 2006. Disponível em: <www.gtca.com.br>. Acesso em: 20 out. 2012.

HAYNES, R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and mechanisms involved. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 47-63, 2001.

HOFFMANN, H. P.; SANTOS, E. G. D.; BASSINELLO, A. I.; VIEIRA, M. A. S. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Araras: CCA/UFSCar, 2008. 30 p.

HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptakes by plants. **Australian Journal of Soil Research**, Canberra, v. 35, n. 2, p. 227-239, 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1071/S96047>>.

ITURRA, A. R. **Histórico das micro destilarias de álcool no Brasil**. Relatório apresentado ao Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA) e à Comissão Executiva do Biodiesel, coordenada pela Casa Civil da Presidência da República. Brasília, 2004.

KIM, T.; MILLS, H. A.; WETZSTEIN, H. Y. Studies on the effect of zinc supply on growth and nutrient uptake in pekan. **Journal of Plant Nutrition**, Nova York, v. 25, n. 9, p. 1987-2000, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120013289>>.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 290-306.

KORNDÖRFER, G. H.; ANDERSON, D. L. Use and impact of sugar-alcohol residuesvinasse and filter cake on sugarcane production in Brazil. **Sugar y Azucar**, Englewood Cliffs, v. 92, n. 3, p. 26-35, 1997.

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

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

KOUAS, S.; LOUCHE, J.; DEBEZ, A.; PLASSARD, C.; DREVON, J.J.; ABDELLY, C. Effect of phosphorus deficiency on acid phosphate and phytase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under symbiotic nitrogen fixation. **Symbiosis**, Amsterdam, v.47, p.141-149, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF03179974>>.

KREY, T.; VASSILEV, N.; BAUM, C.; EICHLER-LÖBERMANN, B. Effects of long term phosphorus application and plant-growth promoting rhizobacteria on maize phosphorus nutrition under field conditions. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v.55, n.1, p.124-130, 2013.

KUMAR, N.; SINHA, U. P. Response of spring-planted sugarcane (*Saccharum officinarum*) to phosphorus and sulphur application. **Indian Journal Agronomy**, Nova Deli, v.53, p.145-148, 2008.

LANDELL, M. G. A. **A variedade IAC 86-2480 como nova opção de cana-de-açúcar para fins forrageiros**: manejo de produção de uso na alimentação animal. Campinas: Instituto Agrônômico, 2002. (Boletim Técnico, 193).

LEE, Y. B.; KIM, P. J. Reduction of phosphate adsorption by ion competition withsilicate insoil. **Korean Journal of Environmental Agriculture**, Pyongyang, v. 26, n. 1, p. 286-293, 2007.

LI, D.; ZHU, H.; LIU, K.; LIU, X.; LEGGEWIE, G.; UDVARDI, M.; WANG, D. Purple acid phosphatases of *Arabidopsis thaliana*. Comparative analysis and differential regulation by phosphate deprivation. **The Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 277, n. 31, p. 27772–27781, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1074/jbc.M204183200>>.

LIMA, R. M. P. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar quanto à resistência e tolerância ao raquitismo-da-soqueira**. 2008. 66 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G.; CHIEN, S. H. Phosphate minerals. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environment**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 1089-1130.

LIMA, S. A. A.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. R.; SOUZA, C.; CAVALCANTE, F. S. Influência da adubação mineral sobre três cultivares decana-de-açúcar na microrregião de Guarabira na Paraíba. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 27, n. 2, p. 92-99, 2006.

LONERAGAN, J. F.; GROVE, T. S.; ROBSON, A. D.; SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 43, n. 5, p. 966-972, 1979. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300050031x>>.

LONERAGAN, J. F.; GRUNES, D. L.; WELCH, R. M.; ADUAYI, E. A.; TENGAH, A.; LAZAR, V. A.; CARY, E. E. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 345-352, 1982. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600020027x>>.

MAIA, A. B.; CAMPELO, E. A. P. **Tecnologia da cachaça de alambique**. Belo Horizonte: Sebrae/MG; SindBebidas, 2006.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. **Nutrição mineral de algumas culturas tropicais**. São Paulo: Livraria Pioneira, 1967. 251 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of haigher plants**. London: Academic, 1995. 889 p

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 1999. p. 205-251.

MESQUITA, E. E.; NERES, M. A. Morfogênese e composição bromatológica decultivares de *Panicum maximum* em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 2, p. 201-209, 2008.

MEYER, J. H.; WOOD, R. A. Factors affecting phosphorus nutrition and fertilizer use by sugarcane in South Africa. **Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association**, KwaZulu-Natal, v. 63, p. 153-158, 1989.

MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; BAPTISTELA, J. R.; DEMATTÊ, J. L. I. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 57-61, 1991.

NARDIN, R. R. **Torta-de-filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agronômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas**. 2007. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

NUNES JÚNIOR, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

OLIVEIRA, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 99-110, 2006.

OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. M. Nutrientes na palhada de dez cultivares de cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 3, p. 6-7, 2002.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Maringá, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, Maringá, v. 6, n. 1-2, p. 85-89, 2005.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007a.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007b.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica: ciências agrárias e biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 1, p. 56-67, 2011.

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

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Adubação nitrogenada em canaplanta: perfilhamento e produtividade agrícola. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 16-18, 1995.

ORTOLAN, M. C. A. Perspectivas para o setor sucroalcooleiro. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; AZANIA, A. A. P. M.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A. VALE, D. W. **Tópicos em tecnologia sucroalcooleira**. Jaboticabal: Gráfica Multipress, 2006. p. 7-16.

PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar** – utilização e cultivo. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1-2.

PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 1-46, 1978.

PENSO, J. S. A.; BRAGA, J. M.; THIÉBAUT, J. T. L. Avaliação da solubilidade de fosfato de Patos. III - Mistura com torta de filtro e vinhaça. **Revista Ceres**, Piracicaba, v. 29, n. 165, p. 516-525, 1982.

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

PEREZ, O.; MELGAR, M. Sugarcane response to nitrogen, phosphorus and potassium application in and sol soils. **Better Crops International**, Atlanta, v. 12, n. 2, p. 20-24, 1998.

PIZAURO, J. M.; CURTI, C.; CIANCAGLINI, P.; LEONE, F. A. Kinetic porperties of triton X-100 solubilized bone matriz-induced alkaline phosphatase. **Cellular and Molecular Biology**, Noisy le Grand, v. 34, p. 921-926, 1988.

PLANALSUCAR. **Cultura da cana-de-açúcar**: manual de orientação. Piracicaba, 1986. 56 p.

PLAXTON, W. C. Plant response to stress: biochemical adaptations to phosphate deficiency. In: GOODMAN, R. (Ed.). **Encyclopedia of plant and crop sciences**. New york: Marcel Dekker, 2004. p. 976–980.

PRADO, H. **Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil**. Campinas: IAC/APTA/SAA, 2005. p. 12-17. (Encarte de Informações Agronômicas, 10).

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

PRADO, R. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, Nova York, v. 2, p. 1-8, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2013/581984>>.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 1., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 606-609.

QADAR, A. Selecting rice genotypes tolerant to zinc deficiency and sodicity stresses. I. Differences in zinc, iron, manganese, copper, phosphorus concentrations, and phosphorus/zinc ratio in their leaves. **Journal of Plant Nutrition**, Nova York, v. 25, n. 3, p. 457-473, 2002.

RABE, E. Stress physiology: the functional significance of the accumulation of nitrogen-containing compounds. **Journal of Horticultural Science**, Bangor, v. 65, n. 3, p. 231-243, 1990.

RAGHOTHAMA, K. G.; KARTHIKEYAN, A. S. Phosphate acquisition. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 274, n. 1-2, p. 37-49, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-2005-6>>.

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

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. p. 311-315.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAKKIYAPPAN, P.; THANGAVELU, S.; MALATHI, R.; RADHAMANI, R. Effect of bio compost and enriched press mud sugarcane yield and quality. **SugarTech**, Heidelberg, v. 3, n. 3, p. 92-96, 2001.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 2, p. 83-89, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-037x.2000.00404.x>>.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot, mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 4, p. 249-258, 2000.

REID, M. S. M.; BIELESKI, R. L. Changes in phosphatase activity in phosphorus deficient *Spirodela*. **Planta**, Berlin, v. 94, p. 273-284, 1970.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.

RICHARDSON, A. E. Regulating the phosphorus nutrition of plants: molecular biology meeting agronomic needs. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 322, p. 17-24, 2009.

RICHARDSON, A. E.; HOCKING, P. J.; SIMPSON, R. J.; GEORGE, T. S. Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus. **Crop and Pasture Science**, Collingwood, v. 60, p. 124-143, 2009.

RIDESA. **Programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar**: variedades RB. Recife: UFRPE/EECA, 2003. 256 p. (Relatório anual).

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa da cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Autores, 2004. 302 p.

ROBINSON, J. S.; SYERS, J. K. A. Critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, p. 597-605, 1990.

RUIZ, M. **Proálcool e seu desenvolvimento**. 2006. Disponível em: <www.sociedadedigital.com.br>. Acesso em: 07 nov. 2012.

SANCHES, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R.; SANCHES, P.A.(Ed.). **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: SSSA, 1992. p. 35-46.

SANTOS, A. M. **Estudo da influencia da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SANTOS, D. H. **Efeito residual da adubação de plantio com torta de filtro e fosfato solúvel na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar**. 2012. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S. Efeito residual da adubação fosfatada e torta de filtro na brotação de soqueiras de cana-de-açúcar. **Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 1-6, 2012.

SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, 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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; CRUSCIOL, A. C. The effect of filter cakes enriched with soluble phosphorus used as a fertilizer on the sugarcane ratoons. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 36, n. 3, p. 365-372, 2014.

SANYAL, S. K.; DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advances in Soil Science**, Nova York, v. 16, p. 1-120, 1991.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de plantas de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. **Boletim Pesquisa Florestal**, n. 47, p. 99-114, 2003.

SHANKARAIAH, C.; MURTHY, K. N. K. Effect of enriched press mud cake on growth, yield and quality of sugarcane. **Sugar Tech**, Heidelberg, v. 7, n. 2, p. 1-4, 2005.

SHANKARAIAH, C.; HUNSIGI, G.; NAGARAJU, M. S. Effect of levels and sources of phosphorus and phosphate solubilizing microorganisms on growth, yield and quality of sugarcane. **SugarTech**, Heidelberg, v. 2, n. 1, p. 23-28, 2000.

SHARPLEY, A. N.; TIESSEN, H.; COLE, C. V. Soil phosphorus forms extracted by soil tests as a function of pedogenesis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 51, p. 362-365, 1987. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100020019x>>.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, F. C.; BASSO, L. C. Avaliação da atividade in vivo da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 371-375, 1993.

SILVA, M. A.; JERONIMO, 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.

SMECK, N. E. Phosphorus: an indicator of pedogenetic weathering processes. **Soil Science**, Baltimore, v. 115, p. 199-206, 1973.

SMECK, N. E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 36, p. 185-199, 1985. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(85\)90001-1](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(85)90001-1)>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba: Potafos, 2003. 16 p. (Informações Agronômicas, 102).

SOUSA, D. M. G.; VOLKWEISS, S. J. Reações do superfosfato triplo em grânulos com solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, p. 133-140, 1987.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 237-239.

STEWART, J. W. B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 4, p. 41-60, 1987.

STUPIELLO, J. P. Cana como matéria prima. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Cargill, 1987. v. 2, p. 759-804.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob efeito do fósforo**. 2001. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SUN, H.; ZHANG, F. Effect of phosphorus deficiency on activity of acid phosphatase exuded by wheat roots. **The Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 13, n. 3, p. 379-381, 2002.

TAGLIAVINI, M.; HOGUE, E. J.; NEILSEN, G. H. Influence of phosphorus nutrition and rootzone temperature on growth and mineral uptake of peach seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, Nova York, v. 14, n. 11, p. 1267-1275, 1991. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169109364283>>.

TAKEDA, M.; NAKAMOTO, T.; MIYAZAWA, K.; MURAYAMA, T.; OKADA, H. Phosphorus availability and soil biological activity in an Andosol under compost application and winter cover cropping. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 42, n. 2, p. 86-95, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.02.003>>.

TATE, K.R. The biological transformation of P in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, p. 245-256, 1984.

TAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La canã de azúcar**. Barcelona: Editorial Blume, 1975. 443 p. (Coleção Agricultura Tropical).

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, p. 853-858, 1984.

TORRES, N. H.; SARTORI, S. B.; AMÉRICO, J. H. P.; FERREIRA, L. F. R. Indústria sucroalcooleira: gestão de subprodutos. **Revista de Ciências Agro-ambientais**, Cáceres, v. 10, n. 2, p. 225-236, 2012.

TRAN, H. T.; HURLEY, B. A.; PLAXTON, W. C. Feeding hungry plants: The role of purple acid phosphatases in phosphate nutrition. **Plant Science**, New York, v. 179, n. 1-2, p. 14-27, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.005>>.

TRENTO FILHO, A. J. **Produção de cana-de-açúcar e qualidade da cachaça em Morretes, PR**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TSADO, P. A.; LAWAL, B. A.; IGWE, C. A.; ADEBOYE, M. K. A.; ODOFIN, A. J.; ADEKAMBI, A. A. Effects of sources and levels of phosphorus on yield and quality of sugarcane in Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria. **Agriculture Science Developments**, Dadaab, v. 2, n. 3, p. 25-27, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF02205584>>.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR-ÚNICA. UNICA. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil**: respostas às questões mais frequentes. São Paulo, 2007. 70 p.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR-ÚNICA. UNICA. **Departamento de Economia e Estatística**. São Paulo, 2014. 4 p. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=80>> Acesso em: 08 dez. 2014.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **The New Phytologist**, London, v. 157, n. 3, p. 427–447, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>>.

VASCONCELOS, R. L.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; CAIONE, G.; ALMEIDA, H. J.; MODA, L. R.; MELLO, F. T.; MARTA, C. C. D. Sources of phosphorus with sugar cane filter cake on the nutritional status and productivity of sugar cane (*Saccharum officinarum* L) cultivated in red-yellow latosol. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 8, n. 11, p. 1467-1474, 2014.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 1-19, 1976. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(76\)90066-5](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(76)90066-5)>.

WILLIAMS, J. D. H.; WALKER, T. W. Fractionation of phosphate in a maturity sequence of New Zealand basaltic soil profiles: 1. **Soil Science**, Baltimore, v. 107, n. 1, p. 22-30, 1969. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1097/00010694-196903000-00010>>.

YUAN H.; LIU, D. Signaling components involved in plant responses to phosphate starvation. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 50, n. 7, p. 849–859, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00709.x>>.

ZABINI, A. V.; MARTINEZ, H. E. P.; FINGER, F. L.; SILVA, C. A. Concentração de micronutrientes e características bioquímicas de progênies de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) eficientes no uso de zinco. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 95-103, 2007.

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

9 APÊNDICE – FOTOS DOS EXPERIMENTOS



Figura 52. Visão geral do experimento no Argissolo e detalhe do tratamento dentro do sulco (A e B), visão geral do experimento no Latossolo e detalhe do tratamento dentro do sulco (C e D), parcelas brotando (E), retirada de amostra para diagnose foliar (F), colheita (G e H).