

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DA CANA PLANTA EM
ARGISSOLO E LATOSSOLO FERTILIZADO COM FONTES
DE FÓSFORO E TORTA DE FILTRO**

Gustavo Caione
Engenheiro Agrônomo

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DA CANA PLANTA EM
ARGISSOLO E LATOSSOLO FERTILIZADO COM FONTES
DE FÓSFORO E TORTA DE FILTRO**

Gustavo Caione

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 (Produção Vegetal)**

2013

Caione, Gustavo
C135n Nutrição e produção da cana planta em Argissolo e Latossolo
fertilizado com fontes de fósforo e torta de filtro / Gustavo Caione. – –
Jaboticabal, 2013
xvi, 65 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Renato de Mello Prado
Banca examinadora: Renato de Mello Prado, Itamar Andrioli,
Pedro Luis da Costa Aguiar Alves, Milton Ferreira de Moraes,
Francisco Maximino Fernandes
Bibliografia

1. *Saccharum* spp. 2. Acúmulo de fósforo. 3. Adubação fosfatada.
4. Fosfatase ácida. 5. Resíduo agroindustrial. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:631.81

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

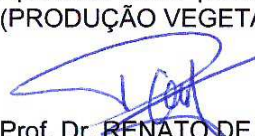
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DA CANA PLANTA EM ARGISSOLO E LATOSSOLO FERTILIZADO COM FONTES DE FÓSFORO E TORTA DE FILTRO

AUTOR: GUSTAVO CAIONE

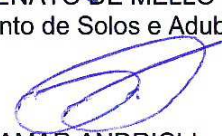
ORIENTADOR: Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

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



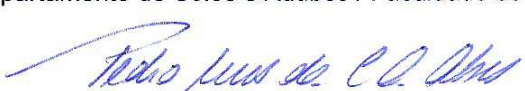
Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. ITAMAR ANDRIOLI

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



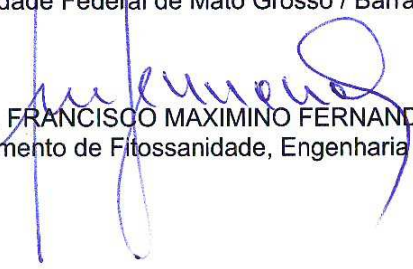
Prof. Dr. PEDRO LUIS DA COSTA AGUIAR ALVES

Departamento de Biologia Aplicada À Agropecuária / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. MILTON FERREIRA DE MORAES

Universidade Federal de Mato Grosso / Barra do Garças/MT



Prof. Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 19 de setembro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Gustavo Caione, nascido no município de Alta Floresta – MT, Brasil em 22 de novembro de 1984, filho de João Caione e Tereza Pereira de Lima Caione. Viveu na zona rural desde o nascimento até o ano de 2010. Obteve seus primeiros e valiosos ensinamentos escolares na Escola Municipal “Rodrigo Cione de Almeida”, localizada na zona rural de Alta Floresta. Concluiu o ensino fundamental (2000) e médio (2003) em escolas públicas. Em 2008 concluiu o curso de Agronomia pela Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Câmpus de Alta Floresta. Foi Professor substituto nesta mesma Universidade durante o ano de 2009. Em 2010 iniciou o curso de Pós-Graduação em nível de Mestrado, obtendo o título de Mestre em Agronomia, com especialidade em “Sistemas de Produção”, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Ilha Solteira no ano de 2011. Neste mesmo ano iniciou o Doutorado em Agronomia, com especialidade em “Produção Vegetal”, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal. 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. Coorientou alunos de graduação em Agronomia da UNEMAT, Câmpus de Alta Floresta e 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”. Até o momento é autor/coautor de 21 artigos científicos, dois capítulos de livro e 55 resumos. Foi orientado pelos Professores Anderson Lange (Graduação), Francisco Maximino Fernandes (Mestrado) e Renato de Mello Prado (Doutorado).

Dedico & Ofereço

Aos meus pais **João Caione & Tereza Pereira de Lima Caione**
minha infinita gratidão pelos exemplos de humildade e
honestidade. Pelo apoio e amor a mim dedicados.

Ao meu irmão **Wagner Caione**
que sempre esteve ao meu lado com muita amizade,
incentivo e apoio em todas as decisões que tive que
tomar.

A minha noiva **Andréia Nayara Knupp**
sempre me dedicando muito amor e carinho, sendo
minha grande companheira durante todo este período.

Amo muito todos vocês!

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora Aparecida por sempre ter me guiado no caminho certo e ter me concedido mais esta oportunidade e concretização deste sonho imensurável de obter o título de Doutor em Agronomia.

A minha família, meus pais João Caione e Tereza Pereira de Lima Caione, meu irmão Wagner Caione, e minha noiva Andréia Nayara Knupp, que sempre me incentivaram e apoiaram e muito contribuíram para que eu alcançasse este objetivo. Isto me fortalece a cada dia e me responsabiliza a retribuí-los da forma como merecem. Agradeço infinitamente por tudo que fizeram e fazem por mim e representam em minha vida e tenho certeza que estão muito felizes e orgulhosos por esse momento, assim como eu.

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 Produção Vegetal.

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

Aos meus ex-orientadores, Prof. Dr. Anderson Lange e Prof. Dr. Francisco Maximino Fernandes, pelos ensinamentos, conselhos, confiança e a grande amizade conquistada.

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 Usina Catanduva S/A, Grupo Virgolino de Oliveira e seus funcionários por todo o apoio para a realização dos experimentos.

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

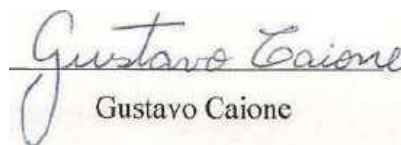
A todos os funcionários do Departamento de Solos e Adubos, em especial aos que convivemos com maior frequência durante este período: Cláudia, Ademir (Cherinho), Célia, Mauro, Djair, Gomes, Luiz e Maria Inês.

A todos os colegas do GENPLANT, em especial aos que tivemos maior convivência na condução dos experimentos: Cid Naudi Silva Campos, Fernando Tiballi de Melo e Leandro Rosatto Moda.

Muito Obrigado!

Jaboticabal – SP,

19 de Setembro de 2013



Gustavo Caione

SUMÁRIO

RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL.....	3
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
4. REVISÃO DE LITERATURA	4
4.1. Importância da cana-de-açúcar no Brasil.....	4
4.2. Importância da nutrição fosfatada.....	4
4.3. Fósforo no solo	6
4.4. Resposta da cana planta à aplicação de fósforo	8
4.5. Torta de filtro	10
5. MATERIAL E MÉTODOS	12
5.1. Áreas experimentais	12
5.2. Instalação dos experimentos e tratos culturais	13
5.3. Tratamentos e delineamento experimental	14
5.4. Avaliações.....	15
5.5. Análises estatísticas.....	17
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6.1. Fósforo no solo e crescimento da cana-de-açúcar em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	18
6.1.1. ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.....	18
6.1.2. LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	22
6.2. Estado nutricional da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	26
6.2.1. ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.....	26
6.2.2. LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	32

6.3. Atividade da fosfatase ácida foliar, acúmulo de fósforo e produção da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	39
6.3.1. ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.....	39
6.3.2. LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	44
6.4. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	51
6.4.1. ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.....	51
6.4.2. LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	52
7. CONCLUSÕES	54
8. REFERÊNCIAS.....	55
9. APÊNDICE – FOTOS DOS EXPERIMENTOS	64

NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DA CANA PLANTA EM ARGISSOLO E LATOSSOLO FERTILIZADO COM FONTES DE FÓSFORO E TORTA DE FILTRO

RESUMO - A adubação fosfatada no sulco de plantio da cana-de-açúcar, com fertilizante mineral associado a resíduo orgânico, apresenta-se como alternativa para aumentar a taxa de recuperação do fósforo (P) pelas plantas. Objetivou-se avaliar os efeitos de doses e fontes de P, na ausência e na presença de torta de filtro, sobre o P no solo, estado nutricional e a produtividade da cana planta cultivada em Argissolo e em Latossolo. Foram realizados dois ensaios durante o ano agrícola 2012/2013 no estado de São Paulo, em áreas com baixos teores de P. Utilizaram-se três fontes (fosfato de Araxá, fosfato Bayóvar e superfosfato triplo) e quatro doses de P (zero; 90; 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na ausência e na presença de 7,5 t ha⁻¹ de torta de filtro (base seca). Os tratamentos foram aplicados no sulco de plantio da cana-de-açúcar. Avaliaram-se as variáveis de crescimento aos quatro e aos seis meses após a brotação, a disponibilidade de P no solo aos seis meses após o plantio, o teor foliar de macro e micronutrientes aos quatro e aos oito meses após a brotação, a atividade da fosfatase ácida foliar aos oito meses após a brotação, a produtividade de palhada e de colmos e o acúmulo de fósforo pelas plantas aos 12 meses após a brotação, assim como a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. A aplicação de doses de P, independentemente da fonte, aumentou a disponibilidade do nutriente no solo, o crescimento da cana-de-açúcar, melhorou a nutrição fosfatada da cana planta e resultou em aumento de produtividade, no entanto, não influenciou a qualidade tecnológica. A determinação do teor de P no solo pelo método resina mostrou-se mais adequado que o remanescente. A diagnose foliar em P pode ser realizada seguindo ambos os critérios de recomendação. A atividade da fosfatase ácida não demonstrou eficiência no diagnóstico nutricional em P. Em ambos os solos os efeitos dos tratamentos foram semelhantes, no entanto, a produtividade obtida no Argissolo foi superior à do Latossolo.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., acúmulo de fósforo, adubação fosfatada, fosfatase ácida, resíduo agroindustrial.

NUTRITION AND PRODUCTION SUGARCANE IN A ULTISOL AND OXISSOL FERTILIZED WITH SOURCES OF PHOSPHORUS AND FILTER CAKE

ABSTRACT - Phosphorus fertilization in sugarcane planting furrow with mineral fertilizer combined with organic waste is presented as an alternative to increase the rate of recovery of phosphorus by plants. The aim of the study was to evaluate the effects of different phosphorus rates and sources, in the absence or presence of filter cake on phosphorus in soil, nutritional status and productivity of sugarcane crop grown in Ultisol and Oxisol. Two experiments were conducted during the agricultural year 2012/2013 in the state of São Paulo, in areas with low levels of phosphorus. Three phosphorus sources were used (triple superphosphate, Araxa rock phosphate and Bayovar rock phosphate) and four application rates (0, 90, 180 and 360 kg ha⁻¹ of P₂O₅) in the presence or absence of filter cake (7.5 t ha⁻¹, dry basis). Treatments were applied in sugarcane planting furrow. The growth variables were evaluated at four and six months after sprouting, the availability of phosphorus in soil at six months after planting, the leaf content of macro and micronutrients at four and eight months after sprouting, the activity of leaf acid phosphatase at eight months after sprouting, the productivity of straw and stalks and phosphorus accumulation by plants at 12 months after planting, as well as the sugarcane technological quality. The application rates of phosphorus, regardless of source, increased this nutrient availability in soil, the growth of the sugarcane, improved phosphorus nutrition of sugarcane plant and resulted in increased productivity, although, it did not influence the technological quality. The determination of phosphorus in soil by the resin method was more suitable than the remaining. Leaf phosphorus analysis can be performed following both criteria of sampling recommendation. The acid phosphatase activity showed no efficiency in diagnosing nutritional phosphorus. In both soil treatment effects were similar, however, higher productivity was observed in Ultisol compared with oxisol.

Keywords: *Saccharum* spp., phosphorus accumulation, phosphate fertilizer, acid phosphatase, residue agroindustrial.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teores de fósforo no solo (resina e remanescente) nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm, altura de plantas (AP), diâmetro (DP) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar, aos quatro e seis meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013.....	19
Tabela 2. Teores de fósforo no solo (resina e remanescente) nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm, altura de plantas (AP), diâmetro (DP) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar aos quatro e seis meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.....	23
Tabela 3. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013... .	27
Tabela 4. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013... .	29
Tabela 5. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013... .	30
Tabela 6. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013... .	32
Tabela 7. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013... ..	33
Tabela 8. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em	

LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013...	36
Tabela 9. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013...	37
Tabela 10. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013...	38
Tabela 11. Atividade da fosfatase ácida (APase), acúmulo de fósforo nos colmos (P colmos), na palhada (P palhada), total (P total), comprimento (CC), diâmetro (DC) e número de colmos (NC) e produtividade de palhada (palha) e de colmos (colmo) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro. Catanduva, SP, Brasil, 2013.....	40
Tabela 12. Atividade da fosfatase ácida (APase), acúmulo de fósforo nos colmos (P colmos), na palhada (P palhada), total (P total), comprimento (CC), diâmetro (DC) e número de colmos (NC) e produtividade de palhada (palha) e de colmos (colmo) da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.....	45
Tabela 13. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro. Catanduva, SP, Brasil, 2013.....	51
Tabela 14. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pluviosidade mensal acumulada durante o período de desenvolvimento dos experimentos.....	12
Figura 2. Teor de P disponível (P resina) no solo na profundidade de 0-20 cm, em função de fontes de P e torta de filtro (A), doses de P e torta de filtro (B e C) e na profundidade 20-40 cm, em função de doses de P (D) e teores de P remanescente na profundidade de 0-20 cm, em função de doses de P (E) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.....	20
Figura 3. Efeito de doses de P sobre a altura de plantas (A) e da interação entre doses de P e torta para o número de perfilhos (B e C) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, aos quatro meses após a brotação.....	21
Figura 4. Efeito de doses de P sobre a altura de plantas (A) e diâmetro de perfilhos (B) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, aos seis meses após a brotação.....	22
Figura 5. Teor de P (P resina) no solo na profundidade de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), e P remanescente na profundidade de 0-20 cm (C) e de 20-40 cm (D), em função de doses de P em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.....	24
Figura 6. Efeito das doses de P sobre o diâmetro de perfilhos da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, aos seis meses após a brotação.....	26
Figura 7. Teor de P (A) e Zn (B) na folha da cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de doses de P em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico	28
Figura 8. Teores de P (A), Ca (B), Mg (C) e Mn (D) na folha da cana-de-açúcar, aos oito meses após a brotação, em função de doses de P em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.....	31
Figura 9. Teor foliar de P, aos quatro meses após a brotação, em função da interação entre fontes de P e torta de filtro (A e B), da interação entre doses de P e torta de filtro (C e D) e efeito das doses de P sobre os teores de Ca (E) e Mg (F) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.....	34
Figura 10. Teor foliar de Cu, aos oito meses após a brotação, em função da interação entre doses de P e torta de filtro (A e B) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.....	39

Figura 11. Atividade da fosfatase ácida (APase), em função de fontes de P e torta de filtro (A) e doses de P e torta de filtro (B e C) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.....	41
Figura 12. Acúmulo de P nos colmos (A), na palhada (B) e acúmulo total (C), número de colmos por metro (D), produtividade de palhada (E) e de colmos (F) da cana-de-açúcar, em função de doses de P em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.....	43
Figura 13. Atividade da fosfatase ácida (APase), em função de fontes e doses de P (A e B), fontes de P e torta de filtro (C) e doses de P e torta de filtro (D e E) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.....	46
Figura 14. Acúmulo de P nos colmos (A), acúmulo total de P (B), número de colmos por metro (C) e produtividade de colmos (D) da cana-de-açúcar, em função de doses de P em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.....	48

1. INTRODUÇÃO

A adubação fosfatada no plantio da cana-de-açúcar assume grande importância para o aumento de produtividade da cana planta, soqueiras subsequentes e longevidade dos canaviais. A importância do fósforo (P) para a cana-de-açúcar é decorrente das funções que o nutriente desempenha, sendo essencial para a síntese do trifosfato de adenosina (ATP) e de numerosos outros compostos fosforilados. O P é requerido em diversos processos vitais, como absorção iônica, transferência e armazenamento de energia, fotossíntese, dentre outros. Portanto, é difícil constatar um evento biológico em que o P não participa.

Na cana-de-açúcar, estudos indicam que o fornecimento adequado de P aumenta o desenvolvimento radicular, incrementando a absorção de nutrientes, maior perfilhamento e produção. Em caso de deficiência de P, têm-se redução acentuada na produtividade. Diante disso, o monitoramento nutricional da cultura é de grande importância e pode ser feito pela análise química do solo e a foliar e testes bioquímicos, como a avaliação da atividade da fosfatase ácida foliar, pois a alta atividade dessa enzima tem sido associada à deficiência de P.

No entanto, em solos tropicais, submetidos ao intenso intemperismo, a eficiência da adubação fosfatada é baixa e, frequentemente, o P é um dos nutrientes que mais limita a produção. Nestes solos, com predominância dos Argissolos e dos Latossolos, a fração argila é composta basicamente por caulinita e óxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al). Nestas condições, os processos de adsorção de P com a fração argila e precipitação com o Fe e o Al são favorecidos. Estima-se que apenas 5 a 20% do P aplicado via fertilizante mineral é aproveitado pelas plantas no primeiro ano após sua aplicação e o restante torna-se indisponível, necessitando, assim, de doses muito mais elevadas do que a necessidade das plantas.

Entre as fontes de P, destaca-se as de alta solubilidade (superfosfato simples e triplo, MAP, DAP, entre outros), em que sua eficiência é maior no primeiro ano após a aplicação e em pH do solo (em água) próximo à neutralidade. Alternativamente, têm-se as fontes de menor solubilidade, como os fosfatos naturais brasileiros, como o de Araxá, Catalão e outros (insolúveis em água e em ácido cítrico); e os fosfatos naturais sedimentares de alta reatividade, como o Bayóvar,

Gafsa e outros (insolúveis em água e com média solubilidade em ácido cítrico). Os fosfatos naturais possuem efeito mais duradouro e maior eficiência em valor pH do solo (em água) abaixo de 6.

Após a aplicação de fertilizante fosfatado ao solo ocorre sua dissolução e, posteriormente, praticamente todo o P fica retido na fase sólida formando compostos menos solúveis. Os principais fatores que determinam a quantidade do P retido que será aproveitado pelas plantas depende principalmente da dose, fonte, forma de aplicação do fertilizante fosfatado, textura do solo, tipo de argila, quantidade de matéria orgânica, pH do solo e espécie cultivada. Assim, é importante o manejo adequado da adubação fosfatada para favorecer a absorção pela planta e diminuir os processos de adsorção no solo e, conseqüentemente, com ganhos no aproveitamento do nutriente pela cultura.

Há indicações de que a associação de fertilizante mineral fosfatado com produto orgânico apresenta incrementos na disponibilidade do nutriente no solo, absorção pelas plantas e a produtividade (GICHANGI; MNKENI; BROOKES, 2009; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011; KREY et al., 2013), havendo relatos de que a eficiência da adubação fosfatada via fertilizante orgânico pode atingir valores próximos de 60% (MALAVOLTA, 1967). Um resíduo orgânico da agroindústria sucroalcooleira é a torta de filtro, que apresenta em sua composição química teores consideráveis de nutrientes, em especial o P. Alguns autores descrevem que em cultivos de cana-de-açúcar a torta de filtro tem potencial para substituir parcialmente a adubação mineral (ANJOS et al., 2007; SANTOS et al., 2011).

Há evidências de que o maior aproveitamento do P quando associado um fertilizante mineral à torta de filtro ocorre devido a adsorção competitiva entre os ácidos orgânicos e o P, ao aumento no pH do solo pela torta de filtro, diminuição do Al trocável e mineralização do P orgânico. Portanto, espera-se que na presença da torta de filtro ocorra maior aproveitamento do P aplicado via fertilizante mineral, em relação a sua aplicação na ausência da torta. A classe de solo e a fonte de P mineral poderão influenciar a resposta da planta.

2. OBJETIVO GERAL

Objetivou-se avaliar os efeitos de doses e fontes de P, na ausência e na presença de torta de filtro em variáveis de solo e da planta da cana-de-açúcar cultivada em Argissolo e em Latossolo.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a disponibilidade de P no solo pelos métodos resina e remanescente e verificar a eficiência dos métodos, correlacionando os teores obtidos com a produção da cana planta.

Avaliar o efeito dos tratamentos no crescimento da cana planta aos quatro e aos oito meses após a brotação.

Estudar a diagnose foliar com base em dois critérios de amostragem que melhor expressa o estado nutricional das plantas.

Verificar a viabilidade do uso da diagnose nutricional alternativa em P a partir da atividade da fosfatase ácida foliar.

Avaliar o efeito dos tratamentos na produção e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Correlacionar as variáveis de solo e da planta obtidas com a produção da cana-de-açúcar.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Importância da cana-de-açúcar no Brasil

Diante do potencial do mercado sucroalcooleiro no Brasil, a cana-de-açúcar é considerada como a mais importante fonte de biomassa energética do País. O setor sucroalcooleiro é responsável por cerca de 1 milhão de empregos, dos quais, 511 mil diretamente envolvidos na produção de cana-de-açúcar, e o restante distribuído na cadeia de processamento de açúcar e etanol, representando, assim, 6% dos empregos na agroindústria nacional (CIB - CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA, 2009). Assim, o setor é responsável por uma parte expressiva do produto interno bruto, possibilitando o uso de uma fonte de energia renovável, gerando divisas com exportação de álcool e de açúcar.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo que a produção total na safra 2012/2013 foi de 588,9 milhões de toneladas de colmos, com produtividade média de $69,4 \text{ t ha}^{-1}$, tendo o Estado de São Paulo 51,3% da área cultivada do País (CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013). Estudos indicam que o potencial biológico de produção da cana-de-açúcar é de aproximadamente 350 t ha^{-1} de colmos no período de 360 dias (LANDELL, 2005), muito superior à produtividade média brasileira. Portanto, há necessidade de avanços em pesquisas para aumentar os índices de produtividade. Neste contexto, no setor agrícola, o manejo da adubação assume grande importância, principalmente a adubação fosfatada que, frequentemente, apresenta baixos índices de eficiência, limitando a produtividade e a longevidade dos canaviais.

4.2. Importância da nutrição fosfatada

As plantas absorvem a maior parte do P como íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-). As pequenas quantidades do íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}) são também absorvidas, independentemente da fonte aplicada; entretanto, é influenciado pelo valor pH do solo. Os solos tropicais possuem predominância de

reação ácida ($\sim \text{pH} = 5,5$) e, assim, a forma iônica de P que predomina na solução é a H_2PO_4^- (PRADO, 2008).

Na planta, o P apresenta alta mobilidade, tendo alta concentração na seiva do floema. Encontra-se fortemente ligado aos processos metabólicos da planta, ficando concentrado nas regiões de crescimento mais ativo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O P é necessário para a síntese do trifosfato de adenosina (ATP) e de numerosos outros compostos fosforilados; é elemento-chave para qualquer célula armazenar energia e utilizá-la em seus processos biológicos que envolvam gasto de energia (EPSTEIN, 1975; EPSTEIN; BLOOM, 2006). 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 ocorrência de deficiência de P tem reflexos no metabolismo vegetal que pode ser avaliado pela atividade bioquímica, como alterações na atividade da fosfatase ácida (SILVA; BASSO, 1993; BESFORD, 2006), que inclusive pode ser utilizada como diagnóstico alternativo de desordem nutricional de P. Em cana-de-açúcar foi verificado que o aumento no acúmulo de P pela planta resultou em diminuição da atividade da fosfatase ácida (SILVA; BASSO, 1993). A importância dos testes bioquímicos ocorre, pois pode 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; FONSECA; PRADO, 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, causa menor brotação, perfilhamento, altura de plantas, diâmetro de colmos, encurtamento dos entrenós e sistema radicular atrofiado (KORNDÖRFER, 2004).

Salienta-se, também, que o P pode influenciar na qualidade tecnológica da cana, aumentando os sólidos solúveis do caldo (SANTOS et al., 2011) e, também, a pureza (ELAMIN et al., 2007) e, na deficiência do nutriente tem-se caldo turvo, implicando a produção de açúcar de baixa qualidade (KORNDÖRFER, 2004).

Apesar da importância biológica do P na cana-de-açúcar, a quantidade de P absorvida pela planta é relativamente baixa, atingindo aproximadamente 18 kg de P para a produção de 100 toneladas de colmos (massa fresca) (ORLANDO FILHO, 1993). O acúmulo de P pela cana-de-açúcar pode variar em função da variedade e do tipo de solo (GOMES, 2003), sendo específico para uma dada produtividade da cultura. Em nível mundial, existem trabalhos que descrevem grandes variações de índices de produtividade, em especial, Índia, Brasil, Cuba, Austrália e México (EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004); portanto, espera-se variação na quantidade acumulada de P nas diferentes regiões do mundo com o cultivo da cana-de-açúcar.

4.3. Fósforo no solo

O P do solo é suprido pelo material de origem ou pela adição de fertilizantes fosfatados. A maioria dos solos contém fosfato de cálcio no material de origem, o qual é hidrolisado com o intemperismo, tendo equilíbrio com a solução do solo. Durante o intemperismo, as bases e a sílica são removidas e os óxidos de Fe e de Al aumentam sua concentração relativa, permitindo a formação de fosfatos secundários de Fe e de Al (TIESEN; STEWART; COLE, 1984), sendo este efeito mais expressivo em solos de regiões de clima tropical.

Após a aplicação ao solo de um fertilizante fosfatado ocorre uma sequência de eventos físico-químicos que transformam o fosfato em substância fosfatada complexa, as quais passam controlar a disponibilidade desse nutriente na solução (KAMINSKI; PERUZZO, 1997). Quando fertilizantes fosfatados solúveis são adicionados ao solo, após a entrada da água no grânulo, uma solução saturada de fosfato monocálcico é liberada e, em menor concentração, fosfato dicálcico e ácido fosfórico, que acidifica o solo na região do grânulo (GATIBONI, 2003). A solução ácida proveniente do grânulo move-se no solo por difusão e, devido ao baixo pH, solubiliza os óxidos e hidróxidos de Fe e de Al próximos do grânulo, provocando a adsorção do fosfato. Se o solo possuir abundância de Ca, podem ser formados fosfatos de Ca (RHEINHEIMER; ANGHINONI; CONTE, 2000) que, dependendo do pH, podem ser dissolvidos mais facilmente do que aqueles ligados aos óxidos e hidróxidos.

Quando o fertilizante adicionado ao solo for um fosfato natural, a liberação do P dependerá da degradação do mineral do fertilizante (apatita). Nesta situação, o baixo pH do solo, baixos teores de P e, principalmente, os baixos teores de Ca promovem melhor dissolução do fertilizante (SANYAL; DATTA, 1991). No entanto, em solos que recebem adição de grandes quantidades de material orgânico há acumulação de P em várias formas orgânicas e que os métodos de análises rotineiramente utilizados podem não extrair (STEFFENS et al., 2010).

O P no solo possui grande habilidade para formar compostos de alta energia de ligação com os colóides, sendo predominante sua presença na fase sólida. Assim, apenas uma pequena fração do nutriente tem baixa energia de ligação que possibilita sua dessorção e disponibilidade às plantas, mesmo que os teores totais de P sejam altos (GATIBONI, 2003). Diversos fatores interferem na disponibilidade de P no solo, entre os quais destaca-se a capacidade de adsorção de fosfatos do solo, que, por sua vez, é dependente da quantidade de matéria orgânica (M.O.), textura e mineralogia da fração argila (NOVAIS; SMYTH, 1999), além da quantidade de P aplicada e tempo de contato do fosfato com o solo. Quando se aplica uma fonte solúvel de P ao solo, mais de 90% do total aplicado já é adsorvido na primeira hora de contato com o solo (LOGANATHAN; FERNANDO, 1980).

Após a adição de P ao solo, a quantidade que permanece em solução de equilíbrio é denominada de P remanescente (P-rem) (DONAGEMMA et al., 2008) e tem sido uma solução prática para se obter um índice do fator capacidade de P dos solos (NOVAIS; SMYTH, 1999), que diz respeito a capacidade que um solo tem de manter uma quantidade definida de P na solução. O P-rem apresenta estreita correlação com a capacidade máxima de adsorção de fosfatos do solo e também com a capacidade tampão de fosfatos (ALVAREZ V. et al., 2000).

Considerando-se apenas a textura, espera-se, em razão da diferença de superfície específica, a seguinte ordem de adsorção de fosfatos: argila > silte > areia fina > areia grossa. Em relação à mineralogia da fração argila, os óxidos de Fe e Al apresentam maior adsorção de fosfatos que a caulinita (NOVAIS; SMYTH, 1999). Portanto, a eficiência da adubação fosfatada pode ser afetada pela fonte, dose de P, resíduo orgânico e pela classe de solo.

Apesar de a cana-de-açúcar exigir baixas quantidades de P (ORLANDO FILHO, 1993), doses da ordem de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 são frequentemente utilizadas, em virtude do efeito dreno dos solos que competem com a planta pelo P aplicado via fertilizante (NOVAIS; SMITH, 1999). Por essa razão, o percentual de aproveitamento do P aplicado nas adubações de plantio é baixo, variando entre 5 a 20% (ALCARDE; PROCHNOW, 2004). De forma geral, no primeiro ano de cultivo, após a adubação mineral, a taxa média de recuperação do P é de 12%. No caso da aplicação de fertilizante orgânico a taxa média de recuperação é de 60% (MALAVOLTA, 1967).

De forma geral, existem vários relatos na literatura atribuindo o aumento na disponibilidade de P em função da aplicação de M.O. (FONTES; WEED; BOWEN, 1992; NZIGUHEBA et al., 1998). De acordo com estudos, os mecanismos envolvidos na redução da adsorção de P têm sido atribuídos à combinação de aumento do pH, com diminuição do Al trocável e, também, com a quantidade de P mineralizável que é liberada, pelas fontes de M.O. (IYAMUREMYE; DICK, 1996), por meio da adsorção competitiva entre os ácidos orgânicos e o P (ERICH; FITZGERALD; PORTER, 2002), e a complexação de metais e as reações de dissolução (afetando óxidos de Fe e de Al) podem, potencialmente, reduzir o número de sítios de adsorção, liberando P para solução (GUPPY et al., 2005).

Portanto, a elevada adsorção do P no solo contribui para diminuir sua disponibilidade, sendo o nutriente mais limitante à produção agrícola nos solos tropicais, juntamente com o N, exigindo, assim, elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados. Considerando a baixa eficiência da adubação fosfatada, novos estudos com fontes de P e práticas de manejo, observando-se a influência da M.O. na disponibilidade de P, são necessários a fim de aumentar o aproveitamento do P pela planta, quando aplicado via fertilizante (MATIAS, 2010).

4.4. Resposta da cana planta à aplicação de fósforo

Sendo o P um nutriente imprescindível para os processos metabólicos das plantas, conforme visto no tópico 2.2, tem-se reflexo importante para a cana-de-açúcar em relação ao enraizamento, crescimento e perfilhamento. Diante disso, o P

é necessário em quantidades adequadas no momento do plantio, pois irá refletir na produtividade da cana planta e das soqueiras subsequentes.

A maior parte da aplicação de fertilizante fosfatado deve ser efetuada na ocasião do plantio da cana-de-açúcar (ZAMBELLO JÚNIOR; AZEREDO, 1983), preferencialmente, no sulco de plantio, em doses adequadas visando a nutrir a cana planta e as soqueiras (ORLANDO FILHO, 1993). Neste contexto, diversos trabalhos avaliando a adubação 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, Elnasikh e Elamin (2004), avaliando a nutrição fosfatada da cana planta cultivada em três classes de solo, verificaram que o P promoveu incremento nas variáveis de crescimento da cultura.

De forma geral, vários são os resultados de pesquisas que demonstram aumentos de produtividade da cana-de-açúcar, em razão da aplicação de P (SHANKARAIH; MURTHY, 2005; BOKHTIAR; PAUL; ALAM, 2008; KORNDÖRFER; MELO, 2009; SANTOS et al., 2009; SANTOS et al., 2010; CAIONE et al., 2011; DEVI et al., 2012; CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013; TSADO et al., 2013).

Com nutrição adequada de P ocorre melhor atividade fotossintética das plantas, maior desenvolvimento radicular, que leva a maior absorção de nutrientes, maior perfilhamento e produção da cultura da cana-de-açúcar (DEVI et al., 2012). O aumento do perfilhamento da cultura tem sido descrito como o principal benefício do P, sendo o componente de produção que mais contribui para a produtividade da cana-de-açúcar (BOKHTIAR; PAUL; ALAM, 2008; CAIONE et al., 2011; DEVI et al., 2012). Há resultados que o nutriente promove aumentos de até 191% na população de perfilhos da cana-de-açúcar com a redução de 25% da adubação mineral e adição de 15 t ha⁻¹ de torta de filtro, refletindo em maior produtividade de colmos (BOKHTIAR; PAUL; ALAM, 2008). E, em outro estudo apenas com a aplicação de

torta de filtro (100 t ha^{-1} em base seca) foi constatado aumento na produtividade de 73 para 85 t ha^{-1} (ELSAYED et al., 2008).

Avaliando o efeito 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 ($102,5 \text{ t ha}^{-1}$) 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 $62,5 \text{ t ha}^{-1}$. Em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico com baixo teor de P, Caione et al. (2011) verificaram que a aplicação de doses de P no sulco de plantio, na dose de 143 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo, proporcionou melhores resultados na cana planta do que a aplicação de P em área total.

A semelhança de fontes de P na produtividade da cana planta foi observada por outros autores em estudos empregando as fontes superfosfato simples, superfosfato triplo, ácido fosfórico e ácido fosfórico + rocha fosfatada (KORNDÖRFER; MELO, 2009) e farinha de ossos, o superfosfato triplo e fosfato de Arad (CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013).

Com o uso de fertilizante fosfatado mineral solúvel com torta de filtro aplicado no sulco de plantio da cana-de-açúcar, em ARGISSOLO VERMELHO Distrófico, Santos et al. (2011) verificaram que o fertilizante fosfatado, associado com a torta proporcionaram aumento de produtividade. Os autores descrevem que a torta de filtro tem potencial para substituir parte da adubação química fosfatada, observando melhores resultados com a combinação das doses de 2,6 e $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ de torta (80% de massa seca), associada a 160 e 190 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Outros autores descrevem que com o uso da torta de filtro (10 t ha^{-1}) podem ser reduzidas as dependências por fertilizantes químicos em até 25% (RAKKIYAPPAN et al., 2001).

4.5. Torta de filtro

A torta de filtro é sub-produto da indústria sucroalcooleira. É proveniente do processo de clarificação do açúcar, sendo resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, tendo a geração de 30 a 40 kg de torta por tonelada de cana moída (SANTOS et al., 2010). Sua composição é variável, em razão da variedade de cana-de-açúcar, tipo de solo, maturação da cana, processo de

clarificação do caldo, entre outros (KORNDÖRFER, 2004). Durante o processo de clarificação do caldo, a adição de produtos que auxiliam na floculação das impurezas pode aumentar o teor de alguns minerais, principalmente P e Ca.

De forma geral, a torta de filtro apresenta teores consideráveis de M.O., P, N, Ca, K, Mg e micronutrientes, sendo, portanto, um excelente fertilizante orgânico (NUNES JÚNIOR, 2008). A maior parte do P presente na torta de filtro encontra-se na forma orgânica e a liberação do mesmo, assim como do N, ocorre gradativamente por mineralização. Estima-se que cerca de 50% do P contido na torta pode ser considerado prontamente disponível e o restante será mineralizado mais lentamente (SANTIAGO; ROSSETO, 2009).

Conforme trabalho de revisão realizado 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. Tendo em vista os benefícios que este resíduo orgânico promove. Dentre os principais 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).

Neste contexto, é de grande importância o reaproveitamento deste resíduo para a indústria sucroalcooleira, uma vez que deixa de ser um passivo ambiental e torna-se uma alternativa para utilização na adubação, sobretudo associada a fertilizantes fosfatados minerais (SANTOS, 2012), uma vez que as fontes fosfatadas são finitas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Áreas experimentais

Foram realizados dois experimentos em solos distintos do estado de São Paulo, sendo em áreas comerciais pertencentes à Usina Catanduva S/A, Grupo Virgolino de Oliveira. O experimento I foi realizado no município de Catanduva (21°05'07"S, 48°54'22"O, altitude de 550 m) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. O experimento II foi realizado no município de Santa Adélia (21°20'S, 43°53'O, altitude de 600 m) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Ambas as áreas apresentavam ambientes de produção D1. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Aw, tropical chuvoso com inverno seco. As duas áreas são próximas (aproximadamente 25 km) e os dados meteorológicos servem para ambas. Foram registrados os dados de pluviosidade na região de estudo durante o período de desenvolvimento dos experimentos (Figura 1). Nota-se adequada distribuição pluvial, não havendo limitações hídricas, totalizando 1.385 mm durante o ciclo da cana planta.

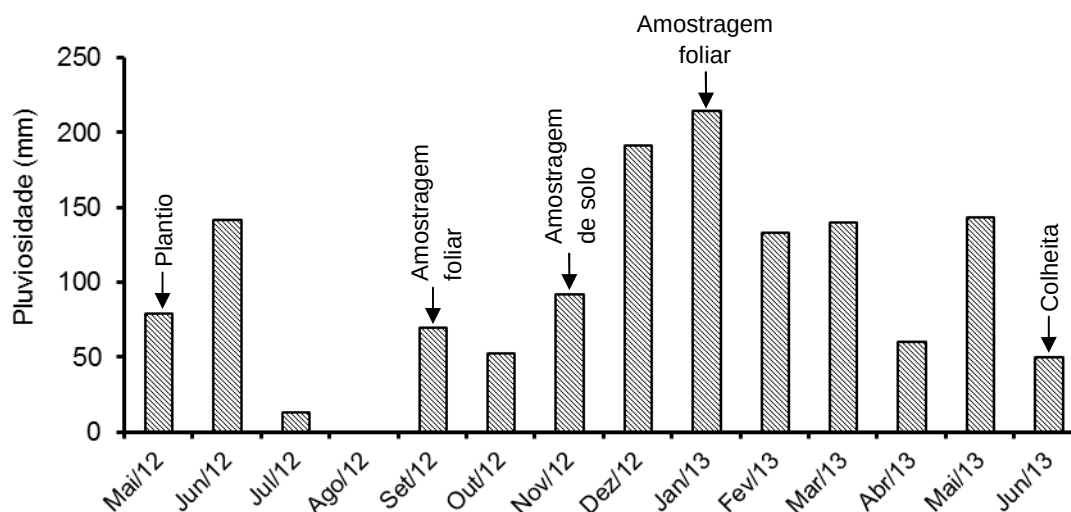


Figura 1. Precipitação pluvial mensal acumulada durante o período de desenvolvimento dos experimentos. Estação agrometeorológica localizada no município de Catanduva, SP. Fonte: CIIAGRO (2009).

No experimento I, realizado no município de Catanduva, o solo é o ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico (SANTOS et al., 2013). Após o preparo do solo,

antecedendo o plantio, realizou-se a amostragem de solo a partir de 20 sub-amostras na camada de 0-20 cm de profundidade. De acordo com a análise química, seguindo a metodologia descrita por Raij et al. (2001), os resultados foram: pH (CaCl₂)= 5,5; matéria orgânica= 12 g dm⁻³; P (resina)= 5 mg dm⁻³; K⁺= 3,1 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺= 30 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺= 13 mmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺= 18 mmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions= 64 mmol_c dm⁻³ e saturação por bases de 72%. O teor de P foi classificado como muito baixo e a saturação por bases alta (RAIJ et al., 1997). Nestas amostras de solo avaliaram-se também os teores de Fe₂O₃, Al₂O₃ e SiO₂, de acordo com a metodologia descrita por Camargo et al. (2009) e os resultados foram de 4,7, 8,0 e 11,2%, respectivamente.

No experimento II, realizado no município de Santa Adélia, o solo é o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SANTOS et al., 2013). De acordo com a análise química (RAIJ et al., 2001), o solo da área experimental apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl₂)= 6,0; matéria orgânica= 7 g dm⁻³; P (resina)= 5 mg dm⁻³; K⁺= 1,4 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺= 11 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺= 6 mmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺= 11 mmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions = 29 mmol_c dm⁻³ e saturação por bases de 63%. O teor de P foi classificado como muito baixo e a saturação por bases média (RAIJ et al., 1997). Nestas amostras de solo avaliaram-se também os teores de Fe₂O₃, Al₂O₃ e SiO₂, de acordo com a metodologia descrita por Camargo et al. (2009) e os resultados foram de 4,5, 11,0 e 13,2%, respectivamente.

5.2. Instalação dos experimentos e tratos culturais

Ambas as áreas experimentais haviam recebido aplicação de calcário há cinco meses e, portanto, não foi necessária a correção da acidez do solo, devido à saturação por bases encontrar-se adequada para a cana-de-açúcar, a qual é de 60% (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Em março de 2012 realizou-se o preparo convencional do solo, com aração e gradagem, e em maio de 2012 realizou-se outra gradagem para o nivelamento do terreno, seguido da sulcação (aproximadamente a 30 cm de profundidade) e plantio. No momento do plantio o sulco encontrava-se com menor profundidade visto que durante o caminhamento na área, parte do solo foi

caindo no sulco. O experimento realizado no Argissolo foi instalado nos dias 21 e 22 de maio de 2012 e o experimento realizado no Latossolo em 23 e 24 de maio de 2012.

Em ambos os experimentos foi utilizada a variedade de cana-de-açúcar CTC 15 de ciclo médio/tardio. É considerada de alto potencial produtivo, rústica, tolerante a seca e adaptada a diferentes ambientes de produção (CTC - CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA, 2012). Utilizou-se a densidade média de 15 gemas por metro de sulco, por meio da distribuição de colmos no sentido “pé-com-ponta”, seguido do corte manual em toletes de três gemas e cobertos com uma camada de solo (aproximadamente 0,10 m).

A adubação básica de plantio foi realizada de acordo com as recomendações de Raij e Cantarella (1997), variando apenas as doses de P e de torta de filtro, segundo os tratamentos utilizados. Utilizou-se como fonte de nitrogênio o sulfato de amônio (21% de N) e como fonte de potássio o KCl (60% de K_2O). Foram balanceados os tratamentos com ausência da torta com o N (considerando 35% do N total contido na torta) e o K (considerando 100% do K total contido na torta) de acordo com a quantidade que a torta iria fornecer. Entretanto, o Ca e o Mg não foram balanceados por apresentarem teores elevados no solo.

Os fertilizantes utilizados no trabalho (incluindo os fosfatados) foram misturados com betoneira e, em seguida, distribuídos uniformemente nos sulcos. Aos 40 dias após a brotação foi realizada a adubação em cobertura à aproximadamente 10 cm da linha de plantio, aplicando 50 kg ha^{-1} de N, na forma de nitrato de amônio, segundo recomendações de Raij e Cantarella (1997). O controle químico de plantas daninhas foi efetuado com aplicações de $1,2 \text{ L ha}^{-1}$ do ingrediente ativo tebutiuram; $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ de ametrina e $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ de sodium hydrogen methylarsonate (MSMA).

5.3. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições, em esquema fatorial $3 \times 4 \times 2$, sendo três fontes de P: superfosfato triplo (44% de P_2O_5 total e 41% solúvel em ácido cítrico a 2%), fosfato natural de Araxá (22% de P_2O_5

total e 4% solúvel em ácido cítrico a 2%) e fosfato natural reativo Bayóvar® (28% de P_2O_5 total e 14% solúvel em ácido cítrico a 2%); quatro doses de P_2O_5 (zero; 90; 180 e 360 kg ha⁻¹ de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%); na ausência e na presença de torta de filtro decomposta, na dose de 7,5 t ha⁻¹, em base seca (equivalente a 15 t ha⁻¹, em base úmida).

As doses de P e torta de filtro foram estabelecidas com base na recomendação de Raij e Cantarella (1997), sendo 180 kg ha⁻¹ de P_2O_5 a dose de P indicada e, a partir desta estabeleceu-se metade e o dobro da dose recomendada. Quanto à torta de filtro, Raij e Cantarella (1997) recomendam a aplicação de 15 a 30 t ha⁻¹ de torta úmida no sulco de plantio. Sendo assim, optou-se por utilizar 15 t ha⁻¹ de torta de filtro e, como está encontrava-se com 50% de umidade, correspondeu a 7,5 t ha⁻¹ de torta, em base seca. A análise química da torta de filtro, seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983) apresentou os seguintes valores, expressos na matéria seca a 60-65 °C: N= 14,0 g kg⁻¹; P= 9,2 g kg⁻¹; K= 3,4 g kg⁻¹; Ca= 25,3 g kg⁻¹; Mg= 9,0 g kg⁻¹; S= 3,3 g kg⁻¹; B= 16 mg kg⁻¹; Cu= 43 mg kg⁻¹; Fe= 9.374 mg kg⁻¹; Mn= 753 mg kg⁻¹ e Zn= 70 mg kg⁻¹. Determinou-se o pH(CaCl₂) da torta de filtro que foi igual a 8,2, segundo a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

As parcelas foram de cinco linhas de cana-de-açúcar, com 15 m de comprimento, distanciadas 1,5 m entre si. Consideraram-se as três linhas centrais úteis para as avaliações, descartando 1,0 m em cada extremidade. Entre os blocos foram feitos carregadores de 3 m de largura.

5.4. Avaliações

Aos quatro e aos seis meses após a brotação foram realizadas avaliações de crescimento. Foi contado o número de perfilhos em 2 m de cada linha da área útil. A altura de plantas (nível do solo até a base da folha+1) e o diâmetro de perfilhos (a aproximadamente 5 cm acima do colo da planta) foram obtidos em 10 plantas da área útil da parcela.

A amostragem de solo foi realizada sobre o sulco de plantio nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Coletaram-se 12 pontos aleatórios na área útil da parcela aos seis meses após a instalação dos experimentos. Nas amostras de terra

foram realizadas as determinações analíticas de P pelos métodos resina e remanescente, conforme metodologia descrita por Raji et al. (2001) e por Alvarez V. et al. (2000), respectivamente.

A diagnose foliar foi realizada em duas épocas, objetivando verificar qual época melhor expressa o estado nutricional das plantas. Quatro meses após a brotação realizou-se a amostragem foliar, coletando-se 15 folhas (terço médio da folha +3, excluindo a nervura central) por parcela para avaliar o estado nutricional da cultura, conforme indicação de Malavolta (1992). Em pleno desenvolvimento da cultura (aos oito meses) foi realizada nova amostragem, coletando-se 15 folhas (terço médio da folha +1, excluindo a nervura central), seguindo recomendações de Raji e Cantarella (1997). O preparo das amostras e a análise química foram realizados de acordo com a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

Também aos oito meses após a brotação foi realizada a amostragem foliar (terço médio da folha +1, excluindo a nervura central), com posterior armazenamento em nitrogênio líquido, para a avaliação nutricional alternativa, a bioquímica, determinando a atividade da fosfatase ácida, de acordo com a metodologia descrita por Pizauro et al. (1988), com adaptações. As adaptações foram: após o descongelamento, as folhas foram homogeneizadas em homogeneizador tipo Turrax marca OMNI modelo GLH-2511, em tampão acetato 100 mM, pH 5,5, na proporção de 1 g de tecido vegetal 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 da atividade enzimática e da concentração de proteína do extrato. A concentração de proteína foi determinada com o kit de dosagem de proteína por fluorescência no aparelho QubitTM fluorometer marca InvitrogenTM, seguindo especificações do protocolo fornecido pelo fabricante e utilizando soroalbumina bovina como padrão.

Aos 12 meses após a brotação foram realizadas as avaliações de produtividade de colmos e de palhada (folhas + ponteiros), número de colmos industrializáveis, diâmetro e comprimento de colmos. Foram determinados o diâmetro do colmo (meio do primeiro entrenó acima do colo da planta) e o comprimento dos colmos (após o desponte) em 10 colmos por parcela. O número de

colmos foi determinado em 2 m de cada linha central da parcela. Colheram-se manualmente, e sem queima, 3 m de cada parcela (1 m em cada linha útil), sendo pesada a palhada e os colmos separadamente e os dados expressos em $t\ ha^{-1}$ de colmos e de massa seca da palhada. Foram coletadas amostras de cada fração e levadas à estufa de circulação forçada de ar a 63-67 °C até massa constante e determinação da massa seca. Após secas, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey. Foi realizada a análise de P nos colmos e na palhada, seguindo-se a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983), e calculado o acúmulo de P.

No momento da avaliação da produtividade foi feita a amostragem de dez colmos contíguos das linhas centrais da parcela, para a análise da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. As análises foram realizadas no laboratório da Usina Catanduva, avaliando a concentração de sólidos solúveis no caldo (Brix), o teor de sacarose no caldo (Pol), a fibra e a pureza. Com base nos resultados, foi calculado o Açúcar Total Recuperável (ATR) e a Pol da cana corrigida (Pcc), conforme metodologia da Consecana (2006).

5.5. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, com o auxílio do programa estatístico Sisvar, versão 5.3 (FERREIRA, 2011). As médias das fontes de variação, fontes de P e torta de filtro, foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Para a fonte de variação doses de P foi realizada a análise de regressão polinomial. Os gráficos foram obtidos utilizando o programa Microsoft Excel Starter 2010 em Windows 7 Starter. 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. Fósforo no solo e crescimento da cana-de-açúcar em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

6.1.1. ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico

A disponibilidade de P no solo na profundidade de 0-20 cm, determinada pelo método resina (P-res), apresentou interação entre fontes de P x torta de filtro e entre doses x torta (Tabela 1). Na presença da torta de filtro, o superfosfato triplo proporcionou maior teor de P no solo do que o fosfato de Araxá e o Bayóvar, porém, todas as fontes apresentaram teores de P considerados altos (RAIJ et al., 1997); não havendo diferenças na ausência da torta (Figura 2 A). O maior valor obtido com o superfosfato triplo pode ter ocorrido em virtude da alcalinidade da torta, pois durante o processo de clarificação do caldo é adicionado o cal $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ que auxilia na floculação das impurezas (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011) e, nestas condições, pode haver melhor eficiência dos fosfatos solúveis, em relação aos fosfatos naturais, os quais necessitam reação ácida para solubilizarem. A presença da torta resultou em maiores valores de P-res em todas as fontes, em relação à sua ausência.

Em todas as doses de P utilizadas os maiores valores de P-res foram obtidos na presença da torta de filtro (Figura 2 B). O efeito das doses de P na presença de resíduo orgânico foi mais evidente, pois, pelo coeficiente angular da reta, verifica-se que os incrementos nos teores de P foram de 44% superiores aos incrementos obtidos com a aplicação de P na ausência de torta (Figura 2 C).

Os teores de P-res na profundidade de 20-40 cm foram afetados apenas pelos fatores isolados (Tabela 1). O uso do superfosfato triplo apresentou maiores teores de P-res do que o fosfato Bayóvar; no entanto, todas as fontes de P apresentaram teores dentro da faixa considerada média (16 a 40 mg dm^{-3}) (RAIJ et al., 1997). O uso da torta de filtro resultou em maiores teores de P no solo, em relação a sua ausência. Em relação às doses de P, houve aumento linear, tanto na presença quanto na ausência de torta; no entanto, na presença da torta, pelo coeficiente angular da reta, cada unidade de P aplicada proporcionou incremento de 39% no P, em relação ao aumento que se obteve ao aplicar doses de P na ausência

da torta (Figura 2 D), fato semelhante ao resultado obtido no teor de P da profundidade de 0-20 cm.

Tabela 1. Teores de fósforo no solo (resina e remanescente) nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm, altura de plantas (AP), diâmetro (DP) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar, aos quatro e seis meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013.

	P resina		P remanescente		Quatro meses			Seis meses		
	0-20	20-40	0-20	20-40	AP	DP	NP	AP	DP	NP
	mg dm ⁻³				cm	mm		cm	mm	
Fontes de P										
Araxá	47	20 ab	30	19	26,0	20,5	18 b	77,7	27,4	19
Bayóvar	45	18 b	29	19	25,0	20,5	19 ab	78,3	27,4	19
Superf. triplo	57	25 a	30	18	26,4	20,7	20 a	78,6	27,5	19
Doses de P ₂ O ₅										
0	15	8	27	19	23,2	19,3	17	73,4	26,4	18
90	35	18	30	19	26,7	21,4	19	78,5	27,9	19
180	53	24	30	18	26,9	20,9	20	83,2	27,8	19
360	99	33	32	19	26,5	20,6	20	77,7	27,6	20
Torta										
Presença	63	24	31	19	25,1	20,5	21	77,5	27,8	20
Ausência	37	18	29	19	26,5	20,6	18	78,9	27,0	18
Teste F										
Fonte (F)	3,0 ns	4,2*	0,1 ns	0,2 ns	2,5 ns	0,1 ns	3,5*	0,1 ns	0,1 ns	0,4 ns
Dose (D)	101,3**	26,3**	10,0**	0,6 ns	11,8**	2,1 ns	7,8**	5,4**	8,8**	1,3 ns
Torta (T)	54,6**	8,3**	3,9 ns	2,0 ns	7,9**	0,1 ns	20,1**	0,7 ns	10,5**	5,1*
F x D	2,1 ns	1,4 ns	0,1 ns	0,9 ns	0,9 ns	0,4 ns	0,9 ns	0,9 ns	0,3 ns	0,2 ns
F x T	4,7*	0,2 ns	0,1 ns	0,1 ns	0,3 ns	0,1 ns	0,7 ns	1,5 ns	0,7 ns	0,6 ns
D x T	4,5**	1,0 ns	0,2 ns	0,4 ns	1,6 ns	1,7 ns	5,2**	1,0 ns	1,5 ns	1,5 ns
F x D x T	1,0 ns	0,7 ns	0,1 ns	1,1 ns	0,3 ns	0,1 ns	0,6 ns	0,7 ns	0,7 ns	0,7 ns
CV (%)	29,9	40,4	10,6	6,5	8,5	8,9	13,1	9,4	4,0	12,3

**, * e ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Houve efeito das doses de P nos teores de P remanescente (P-rem) apenas na profundidade de 0-20 cm (Tabela 1), havendo incrementos lineares, tanto na presença quanto na ausência de torta de filtro (Figura 2 E); mas em menor proporção do que o aumento que se observou nos teores de P-res (Figura 2 C e D).

Para o efeito da torta de filtro na altura de plantas verifica-se maior altura na sua ausência (Tabela 1). A aplicação de doses de P proporcionou aumento com ajuste quadrático na altura de plantas, aos quatro meses após a brotação, sendo que na presença da torta de filtro obteve-se o ponto de máximo com a dose de 286 kg ha^{-1} de P_2O_5 , que proporcionou 29,7 cm de altura e, na ausência, a maior altura (27,9 cm) foi obtida com a dose de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 3 A). O diâmetro de perfilhos não foi influenciado pelos tratamentos (Tabela 1).

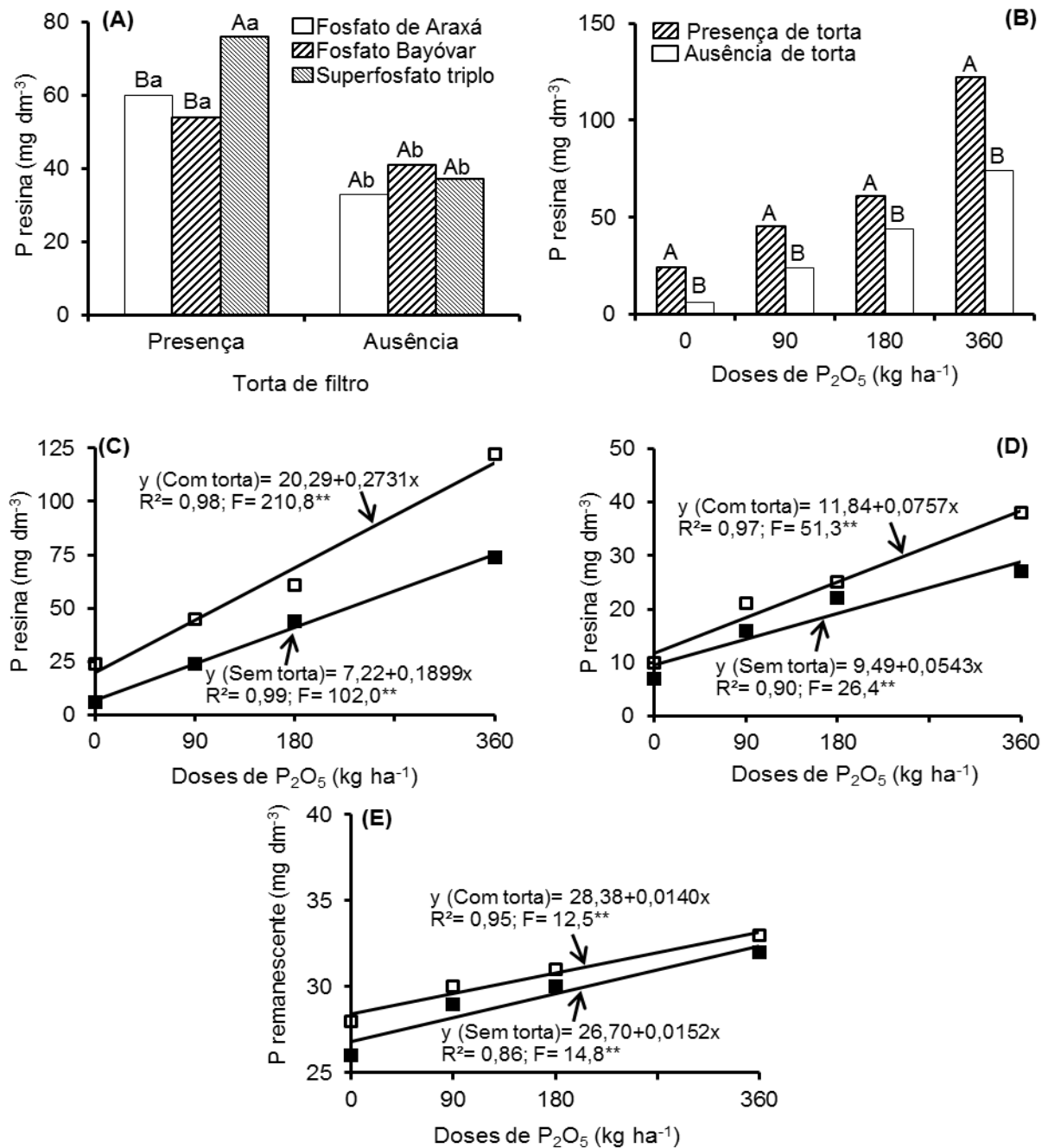


Figura 2. Teor de P disponível (P resina) no solo na profundidade de 0-20 cm, em função de fontes de P e torta de filtro (A), doses de P e torta de filtro (B e C) e na profundidade 20-40 cm, em função de doses de P (D) e teores de P remanescente na profundidade de 0-20 cm, em função de doses de P (E) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de P dentro de torta. Letras minúsculas comparam o efeito da torta em cada fonte. **: significativo ao nível de 0,01 de probabilidade. Figura A: DMS (fonte): 14,86; DMS (torta): 12,34. Figura B: DMS: 14,24.

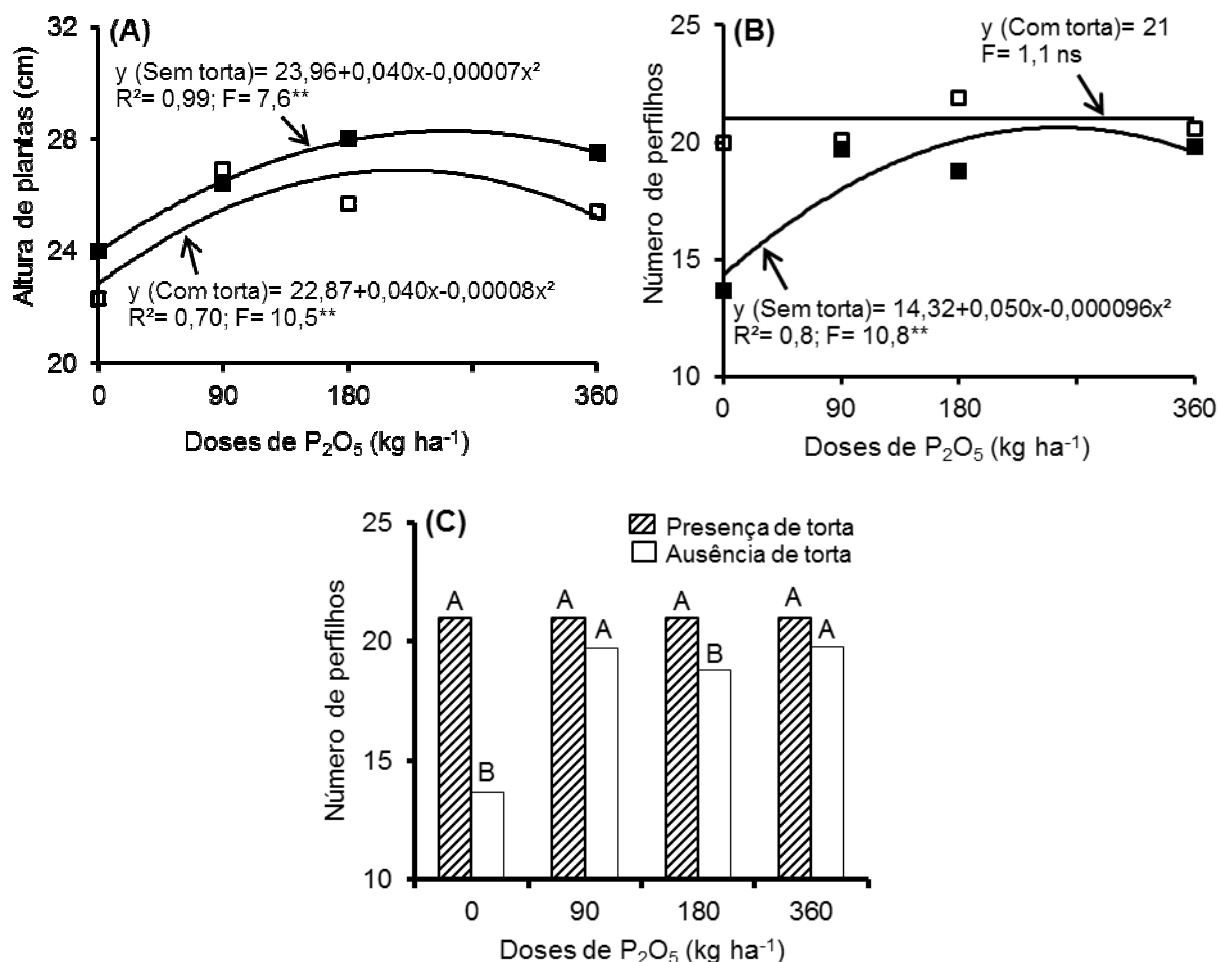


Figura 3. Efeito de doses de P sobre a altura de plantas (A) e da interação entre doses de P e torta para o número de perfilhos (B e C) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, aos quatro meses após a brotação. ** e ns: significativo ao nível de 0,01 de probabilidade e não significativo. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Figura C: DMS: 2,39.

O uso do superfosfato triplo proporcionou maior perfilhamento, em relação ao fosfato de Araxá, o que refletiu nos maiores teores de P-res (20-40 cm de profundidade) (Tabela 1). A aplicação de doses de P na presença da torta não apresentou efeito sobre o perfilhamento, porém, na sua ausência, houve efeito que se ajustou ao modelo quadrático, obtendo maior número de perfilhos (21) com a dose de 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 3 B), sendo semelhante à média obtida na presença da torta. Avaliando o efeito da torta em cada dose de P, verifica-se que houve efeito apenas na ausência de P (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e na dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em que o maior perfilhamento foi obtido na presença da torta (Figura 3 C). Aos quatro meses após a brotação é um período de intenso perfilhamento e

crescimento das plantas, fato que resulta em grandes variabilidades nas medições das variáveis de crescimento.

Aos seis meses após a brotação, as doses de P, na ausência da torta, proporcionaram aumento com ajuste quadrático na altura de plantas, obtendo o ponto de máximo (84 cm) com a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, não havendo efeito na presença da torta (Figura 4 A).

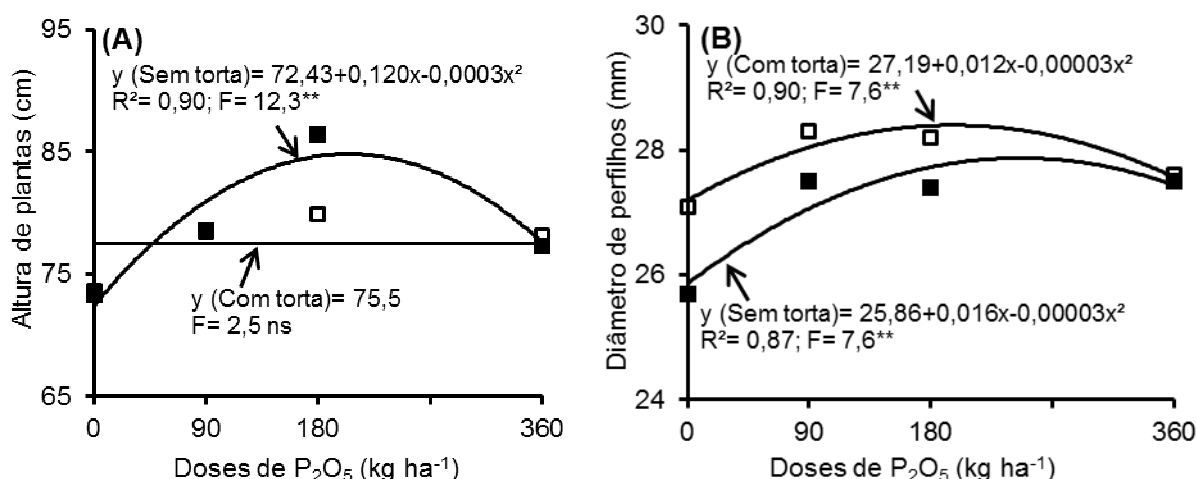


Figura 4. Efeito de doses de P sobre a altura de plantas (A) e diâmetro de perfilhos (B) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, aos seis meses após a brotação. ** e ns: significativo ao nível de 0,01 de probabilidade e não significativo.

A torta de filtro promoveu incremento no diâmetro e no número de perfilhos por metro da planta aos seis meses após a brotação (Tabela 1). Com a aplicação de doses de P (média das três fontes) houve aumento no diâmetro de perfilhos com ajuste quadrático, tanto na presença quanto na ausência da torta de filtro, com pontos de máximos (28,4 e 28,0 mm) nas doses de 200 e de 267 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na presença e na ausência da torta, respectivamente (Figura 4 B).

6.1.2. LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

Houve efeito isolado dos fatores nos teores de P-res na profundidade de 0-20 cm (Tabela 2). O superfosfato triplo proporcionou os maiores teores de P no solo, em relação ao fosfato de Araxá e ao fosfato Bayóvar, que não diferiram. O maior teor obtido com o superfosfato triplo, pode ser atribuído ao aumento do pH com o uso da torta, conforme também verificado no experimento no Argissolo. Neste

sentido, Santos (2012) descreve que após o corte da cana planta houve maiores valores pH com a aplicação de torta de filtro. A presença da torta resultou em maior teor no solo, em relação à sua ausência, representando 83% de superioridade, o que pode ser atribuído, principalmente à disponibilização de P pela torta. A aplicação de doses de P proporcionou aumento linear no teor de P no solo, tanto na presença, quanto na ausência da torta (Figura 5 A), sendo maiores os teores na presença da torta.

Tabela 2. Teores de fósforo no solo (resina e remanescente) nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm, altura de plantas (AP), diâmetro (DP) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar aos quatro e seis meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.

	P resina		P remanescente		Quatro meses			Seis meses		
	0-20	20-40	0-20	20-40	AP	DP	NP	AP	DP	NP
	mg dm ⁻³				cm	mm		cm	mm	
Fontes de P										
Araxá	54 b	23	19	21	26,2 b	20,3	20 ab	80,7	26,3	19
Bayóvar	51 b	31	19	21	27,5 ab	19,9	19 b	78,4	26,6	19
Superf. Triplo	70 a	30	20	22	28,0 a	19,4	22 a	77,6	26,5	19
Doses de P ₂ O ₅										
0	33	13	17	19	27	19,9	20	77,1	25,7	18
90	57	20	19	20	27,6	19,6	20	80,0	26,4	19
180	60	34	19	21	26,4	19,8	21	80,6	26,8	20
360	82	46	21	25	27,9	20,1	20	78,0	26,7	19
Torta										
Presença	75	33	19	21	27,5	20,1	20	80,2	26,4	20
Ausência	41	23	19	21	27,0	19,6	20	77,6	26,5	18
	Teste F									
Fonte (F)	7,1**	3,2 ns	1,0 ns	0,1 ns	3,7*	1,2ns	3,2*	2,2ns	0,6ns	0,3ns
Dose (D)	20,9**	26,5**	7,8**	7,1**	1,3ns	0,3ns	0,2ns	1,7ns	5,4**	0,4ns
Torta (T)	60,9**	12,4**	0,1 ns	0,0 ns	0,9ns	0,9ns	0,0ns	4,0ns	0,1ns	4,7*
F x D	2,1 ns	2,1 ns	0,3 ns	0,4 ns	2,0ns	0,7ns	0,6ns	0,7ns	1,3ns	0,2ns
F x T	2,2 ns	1,9 ns	0,1 ns	0,0 ns	1,3ns	0,2ns	1,1ns	0,1ns	0,2ns	0,2ns
D x T	2,5 ns	0,9 ns	0,4 ns	0,5 ns	1,8ns	0,3ns	0,1ns	0,5ns	1,9ns	0,7ns
F x D x T	2,2 ns	1,7 ns	0,2 ns	0,2 ns	1,6ns	0,4ns	0,4ns	0,3ns	0,6ns	0,1ns
CV (%)	31,8	42,4	13,6	18,8	9,1	10,6	16,9	6,8	3,5	13,9

**; * e ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O uso da torta de filtro proporcionou maiores teores de P-res na profundidade de 20-40 cm, em relação à sua ausência (Tabela 2). As doses de P proporcionaram aumentos lineares nos teores do elemento no solo, tanto na presença quanto na ausência da torta (Figura 5 B).

O teor de P-rem em ambas as profundidades avaliadas apresentou aumento linear com a aplicação de doses de P na ausência e na presença da torta (Figura 5

C e D), porém em proporções muito inferiores ao aumento que se observou para o P-res, conforme também observado no Argissolo.

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 2 C e D e 5 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).

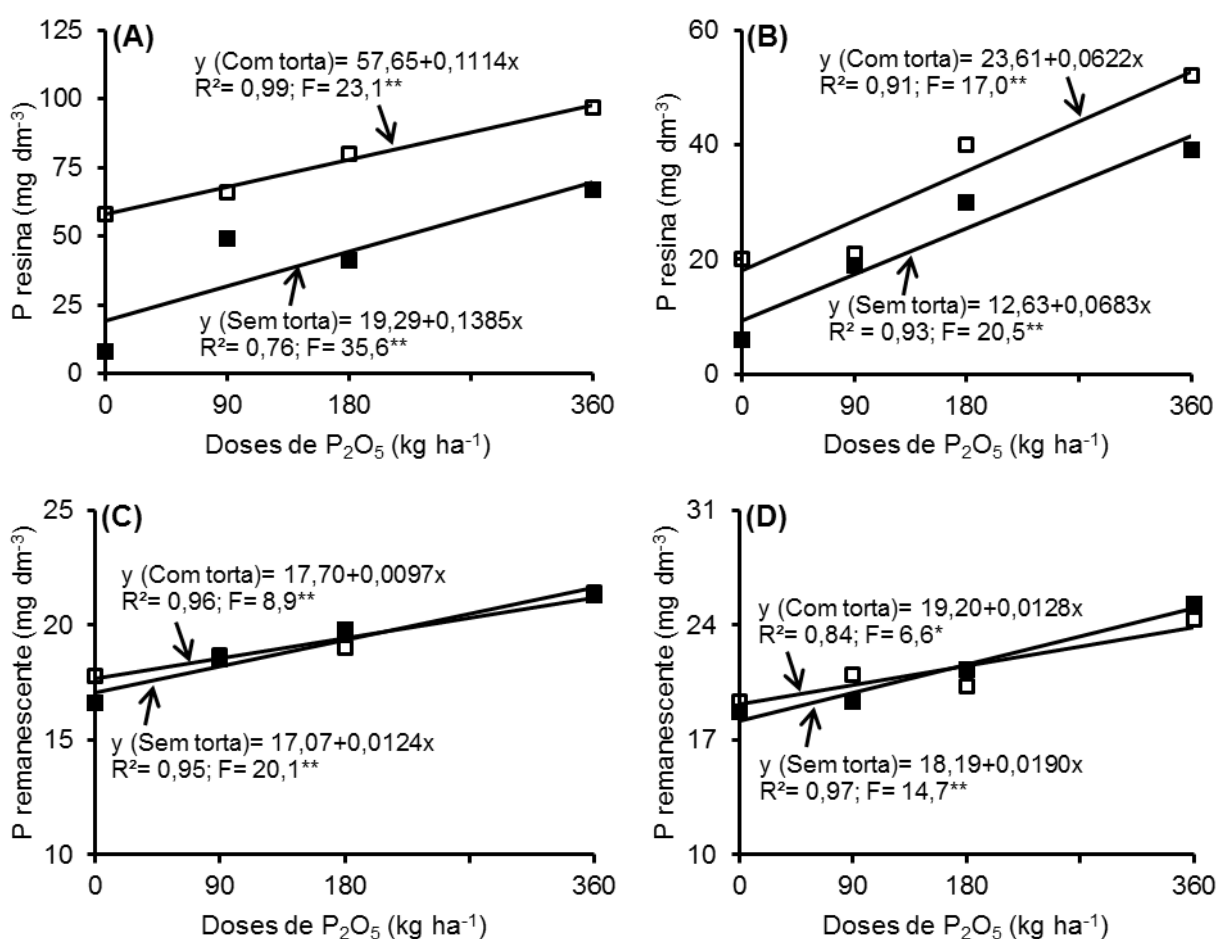


Figura 5. Teor de P (P resina) no solo na profundidade de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), e P remanescente na profundidade de 0-20 cm (C) e de 20-40 cm (D), em função de doses de P em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. * e **: significativo ao nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade.

A quantidade de P que permanece na solução depende da capacidade de adsorção de fosfatos do solo, que, por sua vez, é dependente da quantidade de

matéria orgânica, textura, mineralogia da fração argila (NOVAIS; SMYTH, 1999), além da quantidade de P aplicada. Com a diminuição no teor de matéria orgânica há maior exposição de superfícies de adsorção de P, resultando em diminuição do valor de P-rem. Pelo contrário, quanto menor a quantidade de óxidos de Fe e Al, menor a adsorção de P, resultando em maiores valores de P-rem (DONAGEMMA et al., 2008).

No presente estudo, o aumento no P disponível com o uso da torta de filtro pode também ser atribuído, principalmente, ao fornecimento de P pelo próprio resíduo, pois contém $9,2 \text{ g kg}^{-1}$ de P. Este efeito foi relatado por Elsayed et al. (2008) que, avaliando apenas 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} . E, com a aplicação de 15 t ha^{-1} de torta de filtro (base úmida) Shankaraiah e Murthy (2005) também verificaram melhorias na fertilidade do solo, em relação à adubação química convencional, sendo indicativos de maior absorção de nutrientes pela planta.

Aos quatro meses após a brotação houve efeito das fontes de P sobre a altura de plantas e sobre o número de perfilhos (Tabela 2). A maior altura de plantas foi obtida com o superfosfato triplo, sendo superior ao fosfato de Araxá e, para o número de perfilhos, o superfosfato triplo proporcionou maior perfilhamento que o fosfato Bayóvar.

Aos seis meses não houve efeito dos tratamentos sobre a altura de plantas (Tabela 2). Observou-se efeito das doses de P sobre o diâmetro de perfilhos (Tabela 2), em que na presença de torta, houve aumento com ajuste quadrático com ponto de máximo na dose de 239 kg ha^{-1} de P_2O_5 que proporcionou 27,2 mm de diâmetro e, na ausência de torta não houve efeito das doses de P (Figura 6). Para o número de perfilhos houve maiores valores na presença da torta, em relação à sua ausência.

Portanto, de forma geral, em ambos os solos observou-se aumento nas variáveis de crescimento em função das doses de P e, na presença da torta, foram obtidos melhores resultados. Os aumentos nas variáveis de crescimento em função das doses de P também foram relatados por outros autores (SHANKARAIHAH; HUNSIGI; NAGARAJU, 2000; EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004). Em avaliações realizadas em diferentes épocas, Santos et al. (2009) verificaram que a altura de

plantas só foi influenciada 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 resultou em aumento no perfilhamento da cana-de-açúcar (variedade RB86-7515) cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SANTOS et al., 2010), resultados que estão de acordo com os obtidos no presente estudo.

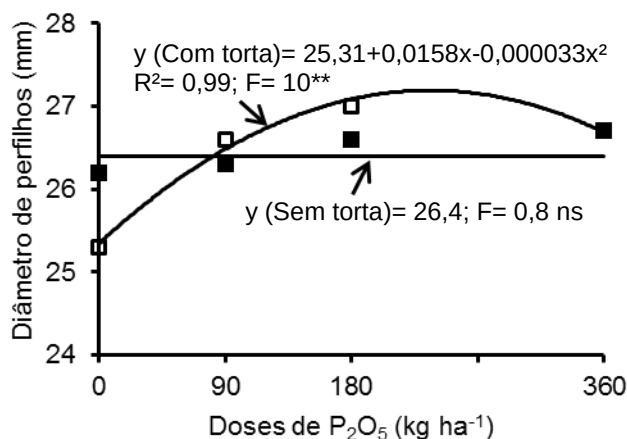


Figura 6. Efeito das doses de P sobre o diâmetro de perfilhos da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, aos seis meses após a brotação. ** e ns: significativo ao nível de 0,01 de probabilidade e não significativo.

6.2. Estado nutricional da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

6.2.1. ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico

Avaliando o efeito dos tratamentos sobre o estado nutricional em macronutrientes das plantas aos quatro meses após a brotação, verifica-se que o uso da torta de filtro proporcionou elevação nos teores foliares de P, Mg e S, em relação à ausência (Tabela 3), fato que pode ser justificado pela composição química deste composto, conforme também ressaltado por Almeida Júnior et al. (2011). Resultados semelhantes foram obtidos por Santos (2012) em que a aplicação de torta no sulco de plantio resultou em maiores teores foliares de N, P, K, Mg e S na cana soca.

O uso do superfosfato triplo proporcionou os maiores teores de P, sendo superior ao fosfato Bayóvar e ao fosfato de Araxá (Tabela 3). Este resultado reflete a

maior disponibilidade do nutriente no solo (P resina) na profundidade de 20-40 cm com esta fonte (Tabela 1).

Tabela 3. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
Fontes de P						
Araxá	18,5	1,4 b	8,8	3,3	2,8	1,4
Bayóvar	18,4	1,5 b	9,0	3,4	2,9	1,5
Superfosfato triplo	18,6	1,6 a	8,7	3,5	2,9	1,5
Doses de P_2O_5						
0	18,6	1,4	9,0	3,4	2,7	1,5
90	18,5	1,5	8,8	3,4	2,7	1,4
180	18,5	1,6	8,7	3,4	2,9	1,5
360	18,5	1,7	8,8	3,5	3,0	1,5
Torta						
Presença	18,6	1,7	9,1	3,5	3,0	1,6
Ausência	18,4	1,4	8,6	3,3	2,7	1,4
	Teste F					
Fonte	0,0 ns	9,8**	0,5 ns	0,8 ns	0,7 ns	2,6 ns
Dose	0,1 ns	14,6**	0,2 ns	0,3 ns	2,2 ns	2,4 ns
Torta	0,5 ns	81,0**	2,3 ns	3,9 ns	7,7**	30,9**
Fonte x Dose	0,5 ns	2,2 ns	0,9 ns	2,0 ns	0,2 ns	1,4 ns
Fonte x Torta	0,2 ns	1,3 ns	0,8 ns	0,4 ns	1,1 ns	0,5 ns
Dose x Torta	1,5 ns	2,7 ns	1,4 ns	0,8 ns	0,9 ns	0,8 ns
Fonte x Dose x Torta	1,8 ns	2,2 ns	0,3 ns	0,9 ns	0,3 ns	0,4 ns
CV (%)	5,2	8,9	14,1	10,8	16,8	11,8

** e ns: significativo ($P < 0,01$) e não significativo respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Houve efeito isolado das doses de P sobre os teores foliares do nutriente (Tabela 3), proporcionando incrementos lineares, tanto na presença quanto na ausência da torta de filtro; no entanto, foram sempre superiores na presença da torta (Figura 7 A). Para os demais nutrientes não houve efeito dos tratamentos. De forma geral, os valores médios para os macronutrientes, exceto o Mg e o S, foram pouco abaixo das faixas de suficiência descrita por Malavolta (1992), as quais são: N=19-21; P= 2,0-2,4; K= 11-13; Ca= 8-10; Mg= 2,0-3,0 e S= 1,5-2,0 g kg^{-1} . Porém, foram semelhantes aos obtidos por Silva (2013), trabalhando com as variedades RB92579, RB867515, SP813250 e VAT90212 no estado de Alagoas e por Fonseca (2011) com a variedade RB855156 no estado de São Paulo.

Para o estado nutricional em micronutrientes não houve efeito dos tratamentos sobre os teores de B, Cu e Mn (Tabela 4). A torta de filtro elevou os teores foliares de Fe e proporcionou menores teores de Zn (Tabela 4). As doses de P também resultaram em decréscimo nos teores de Zn, ajustando ao modelo quadrático, tanto na presença quanto na ausência de torta de filtro (Figura 7 B); no entanto, na presença da torta os teores foram mais baixos. Este resultado pode ser explicado devido ao maior teor de P, tanto no solo quanto na planta, com a aplicação das maiores doses de P e na presença da torta, podendo diminuir os teores de Zn na planta. Vale ressaltar que a redução nos teores de Zn não alterou a classe de interpretação dos dados.

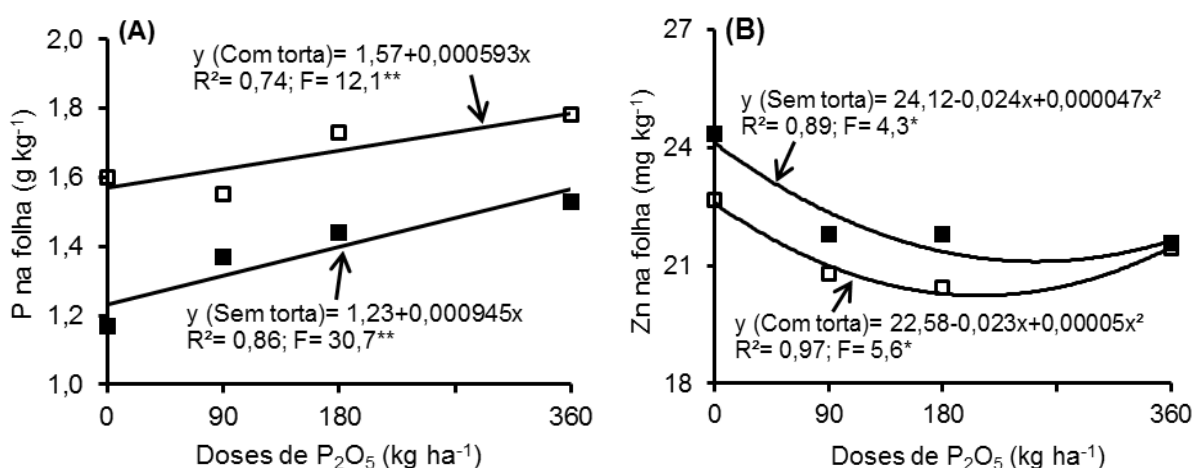


Figura 7. Teor de P (A) e Zn (B) na folha da cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de doses de P em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. * e **: significativo ao nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Este fato é relatado na literatura, mas há controvérsias sobre os mecanismos envolvidos na interação entre 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). Outro fato que pode ter ocorrido é o possível aumento do valor pH, pois, de acordo com Almeida Júnior et al. (2011) e Santos (2012), a torta de filtro demonstrou possuir característica de correção de acidez, fato que promoveria decréscimo nos teores disponíveis dos micronutrientes metálicos.

Os teores médios obtidos para os micronutrientes Cu, Fe e Zn estão abaixo da faixa de suficiência descrita por Malavolta (1992) (B= 15-50; Cu= 8-10; Fe= 200-500; Mn= 70-100 e Zn= 25-50 mg kg⁻¹). No entanto, foram semelhantes aos obtidos em vários trabalhos, como o de Fonseca (2011) e superiores aos obtidos por Silva (2013). Ressalta-se que os baixos teores foliares de nutrientes observados aos quatro meses podem, também, ser atribuídos ao período de baixa precipitação pluvial antecedendo a amostragem foliar (Figura 1).

Tabela 4. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha⁻¹), na presença (7,5 t ha⁻¹) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
Fontes de P					
Araxá	23	7	97	74	22
Bayóvar	22	7	102	77	21
Superfosfato triplo	21	7	95	79	22
Doses de P ₂ O ₅					
0	22	7	95	81	24
90	21	7	93	77	21
180	24	7	103	73	21
360	22	7	100	77	21
Torta					
Presença	22	7	103	78	21
Ausência	22	7	92	75	22
	Teste F				
Fonte	0,4 ns	1,4 ns	1,0 ns	0,7 ns	1,8 ns
Dose	1,1 ns	1,6 ns	1,2 ns	1,0 ns	5,8**
Torta	0,1 ns	1,6 ns	6,4*	0,8 ns	5,0*
Fonte x Dose	0,6 ns	0,4 ns	0,6 ns	0,9 ns	1,0 ns
Fonte x Torta	0,5 ns	0,8 ns	0,2 ns	1,2 ns	3,0 ns
Dose x Torta	0,6 ns	0,7 ns	0,5 ns	2,6 ns	0,5 ns
Fonte x Dose x Torta	1,3 ns	0,6 ns	0,6 ns	1,7 ns	1,6 ns
CV (%)	19,4	11,8	19,2	17,4	9,0

**, * e ns: significativo (P<0,01); (P<0,05) e não significativo respectivamente, pelo teste F.

Aos oito meses após a brotação não houve efeito dos tratamentos sobre os teores foliares de N, K e S (Tabela 5). A presença da torta de filtro resultou em maiores teores foliares de P e de Mg, em relação à ausência de sua aplicação (Tabela 5). Com a aplicação de doses de P houve aumentos lineares nos teores foliares de P, tanto na presença quanto na ausência da torta, mas com valores superiores na presença da torta (Figura 8 A).

Tabela 5. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
Fontes de P						
Araxá	19,4	1,7	11,2	2,2	2,3	1,2
Bayóvar	19,0	1,7	11,2	2,2	2,3	1,2
Superfosfato triplo	19,1	1,7	11,4	2,1	2,3	1,2
Doses de P_2O_5						
0	19,2	1,6	11,4	1,9	2,1	1,2
90	19,0	1,7	11,1	2,2	2,4	1,2
180	19,4	1,7	11,1	2,2	2,4	1,2
360	19,2	1,8	11,4	2,3	2,4	1,2
Torta						
Presença	19,2	1,8	11,3	2,2	2,4	1,2
Ausência	19,2	1,6	11,2	2,1	2,2	1,2
	Teste F					
Fonte	2,1 ns	0,2 ns	0,1 ns	0,3 ns	0,4 ns	0,1 ns
Dose	1,3 ns	4,7**	0,2 ns	10,2**	10,3**	0,2 ns
Torta	0,0 ns	62,3**	0,1 ns	3,5 ns	17,4**	0,2 ns
Fonte x Dose	1,7 ns	1,2 ns	0,2 ns	0,2 ns	0,8 ns	0,5 ns
Fonte x Torta	0,3 ns	0,6 ns	0,1 ns	0,5 ns	0,3 ns	2,5 ns
Dose x Torta	1,0 ns	0,9 ns	0,4 ns	2,4 ns	2,7 ns	1,9 ns
Fonte x Dose x Torta	1,1 ns	0,9 ns	0,3 ns	1,1 ns	0,4 ns	0,8 ns
CV (%)	2,6	4,7	11,7	11,6	9,0	9,4

** e ns: significativo ($P < 0,01$) e não significativo respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A aplicação de doses de P, na presença da torta de filtro, promoveu aumento linear nos teores foliares de Ca e, na ausência da torta, o maior teor foi obtido com a dose de 217 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 8 B). Houve maior teor foliar de Mg ($2,4 \text{ g kg}^{-1}$) com a aplicação de 256 kg ha^{-1} de P_2O_5 na ausência da torta (Figura 8 C). Na presença da torta não teve efeito para as doses de P, no entanto, o valor médio foi igual ao obtido no ponto de máximo na ausência da torta. Os teores de macronutrientes estão na faixa de suficiência descrita por Raij e Cantarella (1997) ($\text{N}=18\text{-}25$; $\text{P}= 1,5\text{-}3,0$; $\text{K}= 10\text{-}16$; $\text{Ca}= 2\text{-}8$; $\text{Mg}= 1,0\text{-}3,0$ e $\text{S}= 1,5\text{-}3,0 \text{ g kg}^{-1}$), exceto o S que, no presente estudo, o valor médio foi de $1,2 \text{ g kg}^{-1}$. Ressalta-se que houve correlação positiva e significativa entre os teores foliares de P aos quatro meses com os teores obtidos aos oito meses ($r = 0,60^{**}$). Porém, os teores obtidos aos quatro meses apresentaram correlação significativa e positiva com o acúmulo total de P ($r = 0,36^{**}$), enquanto aos oito meses não houve correlação.

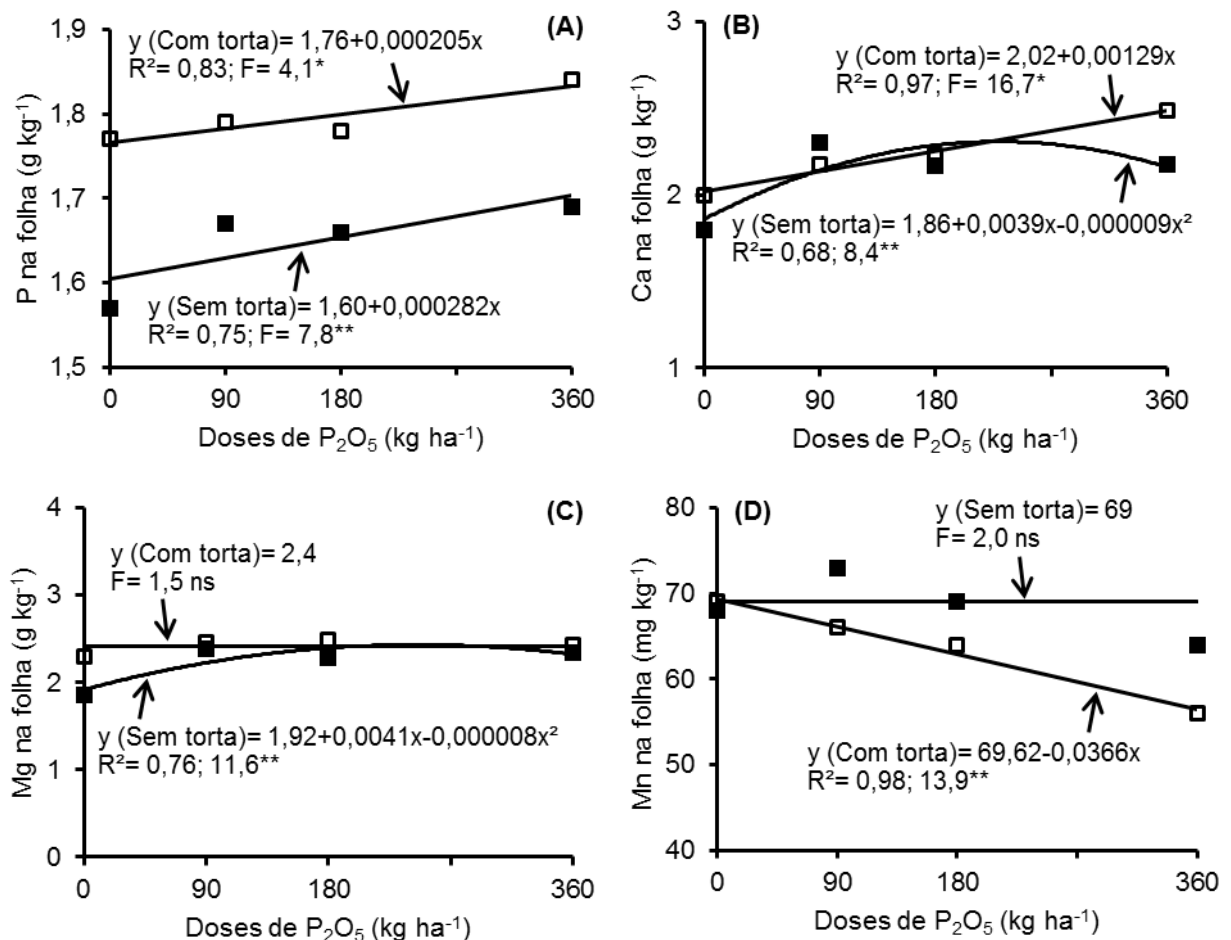


Figura 8. Teores de P (A), Ca (B), Mg (C) e Mn (D) na folha da cana-de-açúcar, aos oito meses após a brotação, em função de doses de P em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. *, ** e ns: significativo ao nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Aos oito meses após a brotação houve efeito dos tratamentos sobre os teores de micronutrientes foliares apenas para o Mn (Tabela 6), em que na presença da torta de filtro obtiveram-se menores valores. As doses de P, na presença da torta, resultaram em decréscimo linear nos teores de Mn e, na ausência da torta, não observaram-se efeitos (Figura 8 D). Este 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. Decréscimo no teor foliar de Mn com a aplicação de torta de filtro também foi observado por Santos (2012), em que o autor atribui este efeito ao aumento do pH do solo nas duas profundidades avaliadas (0-20 e 20-40 cm).

Para os demais micronutrientes não houve efeito dos tratamentos e os teores médios encontram-se na faixa considerada adequada para todos os micronutrientes: B= 10-30; Cu= 6-15; Fe= 40-250; Mn= 25-250 e Zn= 10-50 mg kg⁻¹ (RAIJ; CANTARELLA, 1997).

Tabela 6. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha⁻¹), na presença (7,5 t ha⁻¹) e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Catanduva, SP, Brasil, 2013.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Fontes de P					
Araxá	26	13	60	68	17
Bayóvar	24	12	60	66	16
Superfosfato triplo	25	13	58	65	16
Doses de P ₂ O ₅					
0	22	13	57	69	16
90	27	13	59	69	16
180	26	12	60	67	16
360	25	13	61	60	17
Torta					
Presença	25	13	60	63	16
Ausência	25	13	58	68	16
	----- Teste F -----				
Fonte	0,6 ns	0,3 ns	1,1 ns	0,8 ns	0,1 ns
Dose	1,6 ns	0,3 ns	1,1 ns	5,6**	1,0 ns
Torta	0,1 ns	0,0 ns	1,6 ns	6,2*	0,8 ns
Fonte x Dose	2,3 ns	0,2 ns	1,3 ns	0,8 ns	1,6 ns
Fonte x Torta	1,2 ns	0,1 ns	1,0 ns	2,5 ns	0,4 ns
Dose x Torta	0,8 ns	1,0 ns	0,8 ns	1,1 ns	0,9 ns
Fonte x Dose x Torta	1,6 ns	0,3 ns	1,6 ns	2,0 ns	0,2 ns
CV (%)	17,8	8,1	10,2	11,8	9,8

**, * e ns: significativo (P<0,01); (P<0,05) e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

6.2.2. LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

Não houve efeito dos tratamentos sobre os teores foliares de N e K, aos quatro meses após a brotação (Tabela 7). Houve efeito das interações entre fontes x doses de P e entre torta x doses para o teor de P (Tabela 7). As doses de P proporcionaram aumento linear no teor foliar do nutriente na forma de superfosfato triplo, enquanto as doses de fosfato Bayóvar e fosfato de Araxá não resultaram em aumento no teor do nutriente (Figura 9 A). Avaliando o efeito das fontes em cada dose de P (Figura 9 B) fica evidente a superioridade do superfosfato triplo que proporcionou maiores teores foliares na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sendo superior

ao fosfato de Araxá e, com 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi superior ao fosfato Bayóvar e ao fosfato de Araxá.

Tabela 7. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha⁻¹), na presença (7,5 t ha⁻¹) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Fontes de P						
Araxá	18,6	1,6	9,3	2,9	2,8 b	2,3
Bayóvar	18,7	1,7	9,4	2,9	2,8 b	2,3
Superfosfato triplo	18,8	1,9	9,0	2,9	3,3 a	2,4
Doses de P ₂ O ₅						
0	18,2	1,6	9,3	2,6	2,9	2,3
90	18,7	1,7	9,1	2,9	3,0	2,2
180	19,0	1,8	9,4	3,0	2,9	2,4
360	18,9	1,9	9,1	3,1	3,2	2,4
Torta						
Presença	18,8	1,8	9,1	2,9	3,0	2,4
Ausência	18,6	1,7	9,3	2,9	3,0	2,2
	Teste F					
Fonte	0,3 ns	34,3**	0,5 ns	0,4 ns	10,6**	2,8 ns
Dose	2,4 ns	22,0**	0,3 ns	11,2**	3,1*	1,8 ns
Torta	0,7 ns	9,3**	0,7 ns	0,4 ns	0,1ns	12,1**
Fonte x Dose	0,1 ns	8,2**	0,6 ns	0,3 ns	1,6ns	1,4 ns
Fonte x Torta	1,4 ns	1,8 ns	0,3 ns	0,2 ns	0,9ns	2,1 ns
Dose x Torta	1,1 ns	3,6*	2,4 ns	1,3 ns	0,4ns	1,8 ns
Fonte x Dose x Torta	1,2 ns	0,4 ns	0,3 ns	0,7 ns	0,5ns	1,7 ns
CV (%)	5,0	7,5	12,6	9,2	13,4ns	7,5

**; * e ns: significativo (P<0,01); (P<0,05) e não significativo respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Para o efeito da interação entre doses de P x torta (Figura 9 C e D) nota-se que, tanto na presença quanto na ausência de torta, houve aumento linear nos teores de P, mas com o uso da torta de filtro os teores se mantiveram superiores (Figura 9 C). A presença ou ausência de torta só apresentou diferença nos teores foliares de P com a dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em que a torta de filtro proporcionou maiores valores (Figura 9 D).

Os teores foliares de Ca apresentaram aumento linear com a aplicação de doses de P na ausência de torta de filtro e, na presença da torta, o aumento foi de forma quadrática obtendo máximo teor (3,1 g kg⁻¹) na dose de 241 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 9 E). Portanto, pode-se inferir que o aumento no teor foliar de Ca é devido às fontes de P utilizadas possuírem o elemento em sua composição.

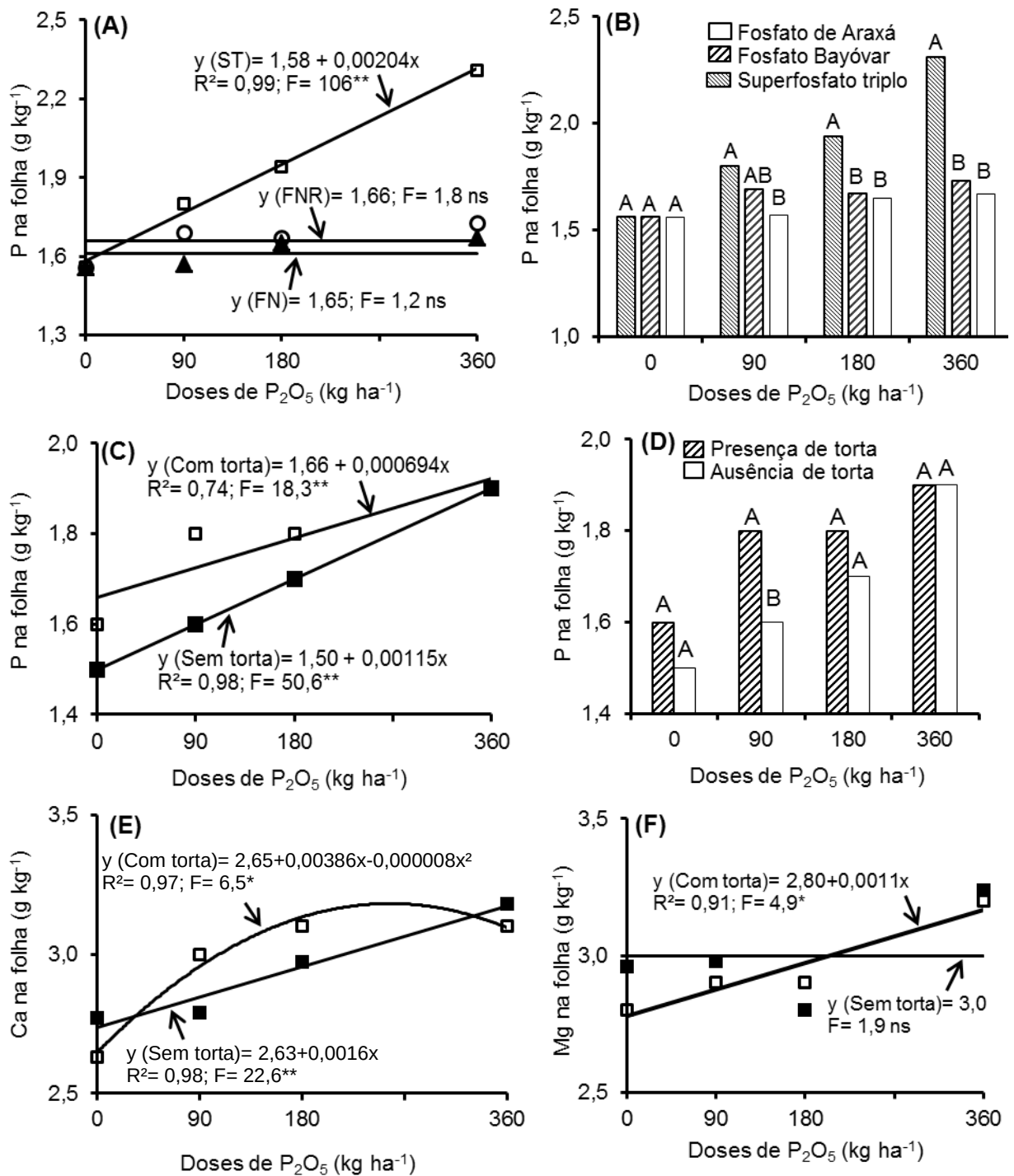


Figura 9. Teor foliar de P, aos quatro meses após a brotação, em função da interação entre fontes de P e torta de filtro (A e B), da interação entre doses de P e torta de filtro (C e D) e efeito das doses de P sobre os teores de Ca (E) e Mg (F) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. *, ** e ns: significativo ao nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey (P<0,05). FN= Fosfato de Araxá; FNR= Fosfato Bayóvar; ST= Superfosfato triplo. Figura B: DMS: 0,18. Figura D: DMS: 0,12.

O uso da fonte de P superfosfato triplo proporcionou os maiores teores foliares de Mg (Tabela 7). A aplicação de doses de P, na presença da torta de filtro, resultou em aumento linear no teor de Mg (Figura 9 F), o que pode-se atribuir a relação entre esses nutrientes, pois seguiu a mesma tendência do teor de P. 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). Para o S, o maior teor foliar foi verificado na presença da torta de filtro (Tabela 7), fato que está relacionado a composição química da torta.

Assim como ocorreu no experimento realizado no Argissolo, também se observou que os teores médios (exceto o Mg e o S) encontram-se abaixo dos valores descritos adequados por Malavolta (1992), mas foram semelhantes nos dois experimentos, assim como assemelharam-se aos resultados de outros autores, como Silva (2013) e Fonseca (2011).

Em relação ao estado nutricional em micronutrientes, houve efeito apenas da torta de filtro sobre o teor de Fe e de Mn (Tabela 8). A presença da torta resultou em maiores teores de Fe e menores teores de Mn (Tabela 8). Este efeito também foi observado por Santos (2012). O aumento no teor de Fe pode ser atribuído ao alto teor do nutriente contido na composição da torta e com o aumento na absorção de um micronutriente catiônico, pode ocorrer diminuição na absorção de outro, fato que ocorreu para o Mn. Estes resultados se devem às interações que ocorrem entre os micronutrientes catiônicos, sendo que a redução nos teores de um ou mais micronutrientes em detrimento da absorção em excesso de outro foi constatada por outros autores (FAGERIA, 2001; KIM; MILLS; WETZSTEIN, 2002; QADAR, 2002).

Neste sentido, Zabini et al. (2007) verificaram que o fornecimento de Zn na dose $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ incrementou as concentrações deste elemento em todas as partes analisadas das 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.

Os demais fatores não exerceram efeito sobre nenhum micronutriente, assim como não se observaram efeitos das interações. Para os teores de Cu e Fe os valores foram abaixo dos descritos adequados por Malavolta (1992), mas foram semelhantes aos valores médios obtidos por Fonseca (2011).

Tabela 8. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.

	B	Cu	Fe mg kg^{-1}	Mn	Zn
Fontes de P					
Araxá	20	7	138	82	27
Bayóvar	20	7	145	86	26
Superfosfato triplo	19	7	134	85	26
Doses de P_2O_5					
0	18	7	141	89	29
90	21	7	134	82	25
180	21	7	138	84	26
360	20	7	142	81	25
Torta					
Presença	20	7	148	78	27
Ausência	20	7	129	91	26
	----- Teste F -----				
Fonte	0,9 ns	0,7 ns	2,5 ns	1,1 ns	0,2 ns
Dose	1,2 ns	1,1 ns	0,8 ns	2,6 ns	2,4 ns
Torta	0,2 ns	0,0 ns	21,2**	38,6**	0,8 ns
Fonte x Dose	0,6 ns	1,3 ns	1,8 ns	1,1 ns	0,2 ns
Fonte x Torta	0,9 ns	0,4 ns	0,1 ns	1,2 ns	0,0 ns
Dose x Torta	0,4 ns	0,8 ns	2,8 ns	1,9 ns	0,3 ns
Fonte x Dose x Torta	0,2 ns	1,1 ns	1,6 ns	0,9 ns	0,1 ns
CV (%)	16,7	10,2	12,5	11,0	22,2

** e ns: significativo ($P < 0,01$) e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

Aos oito meses após a brotação, o uso da torta de filtro proporcionou maiores teores foliares de N, P e Mg, em relação à sua ausência (Tabela 9). As fontes de P apresentaram efeito sobre o teor foliar de P, em que o superfosfato triplo resultou em maiores valores em relação ao fosfato de Araxá e ao fosfato Bayóvar. Para os demais elementos, não houve efeito dos tratamentos. Os teores foliares obtidos no presente estudo estão na faixa considerada adequada por Raji e Cantarella (1997). Conforme ocorreu para o experimento no Argissolo, houve correlação positiva e significativa entre os teores foliares de P aos quatro meses com os teores obtidos aos oito meses ($r = 0,33^{**}$). E, em ambas as épocas de amostragem, os teores foliares correlacionaram com o acúmulo total de P ($r = 0,33^{**}$ aos quatro meses e $r =$

0,31** aos oito meses). Vale ressaltar que apesar de haver coeficientes de correlação significativos, os mesmos foram baixos.

Tabela 9. Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
Fontes de P						
Araxá	19,6	1,7 b	9,7	2,5	2,5	1,7
Bayóvar	19,5	1,7 b	9,6	2,5	2,5	1,7
Superfosfato triplo	19,5	1,8 a	9,6	2,5	2,7	1,7
Doses de P_2O_5						
0	19,8	1,7	9,6	2,5	2,6	1,8
90	19,2	1,7	9,5	2,5	2,7	1,6
180	19,8	1,7	9,6	2,6	2,5	1,7
360	19,3	1,8	9,8	2,5	2,5	1,8
Torta						
Presença	19,8	1,8	9,7	2,5	2,7	1,7
Ausência	19,4	1,7	9,6	2,5	2,5	1,7
	Teste F					
Fonte	0,4 ns	6,8**	0,1 ns	0,2 ns	1,1 ns	0,1 ns
Dose	2,2 ns	2,0 ns	0,1 ns	0,4 ns	0,6 ns	2,0 ns
Torta	6,3*	38,1**	0,1 ns	0,2 ns	5,7*	0,1 ns
Fonte x Dose	1,9 ns	2,2 ns	0,4 ns	1,4 ns	0,6 ns	0,9 ns
Fonte x Torta	0,6 ns	0,0 ns	0,0 ns	1,6 ns	0,4 ns	0,7 ns
Dose x Torta	1,5 ns	0,6 ns	0,7 ns	2,3 ns	0,7 ns	0,4 ns
Fonte x Dose x Torta	0,9 ns	1,0 ns	0,1 ns	0,7 ns	1,2 ns	0,5 ns
CV (%)	3,4	4,9	12,2	12,2	14,6	10,9

**; * e ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Os teores foliares de B, Fe e Zn não foram influenciados pelos tratamentos aos oito meses após a brotação (Tabela 10). Houve interação entre doses de P x torta de filtro para o teor de Cu. Na presença da torta, as doses de P proporcionaram decréscimo com ajuste quadrático no teor de Cu e, na ausência da torta não houve efeito (Figura 10 A). Na ausência de P (0 kg ha^{-1} de P_2O_5), a presença da torta resultou em maior teor foliar de Cu, em relação à sua ausência (Figura 10 B). Nas demais doses não houve efeito. Os teores foliares obtidos no presente estudo estão na faixa considerada adequada por Raji e Cantarella (1997).

De forma geral, em ambos os períodos avaliados (quatro e oito meses após a brotação) os efeitos dos tratamentos foram semelhantes em ambos os solos, assim como os teores foliares demonstram poucas variações entre as duas épocas de

amostragem. Para o teor foliar de P, o superfosfato triplo proporcionou melhores resultados e a aplicação de doses de P com torta de filtro também resultou em melhores resultados, em relação à ausência da torta. Com a aplicação de doses de P na presença de torta de filtro houve aumento nos teores foliares de Ca e de Mg. Algumas alterações ocorreram nos teores de micronutrientes catiônicos, em especial, o Cu, o Mn e o Zn, que em algumas avaliações demonstraram decréscimos em decorrência da aplicação de doses de P na presença da torta de filtro.

Tabela 10. Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.

	B	Cu	Fe mg kg^{-1}	Mn	Zn
Fontes de P					
Araxá	27	10	62	64	17
Bayóvar	28	10	60	63	16
Superfosfato triplo	28	9	62	63	17
Doses de P_2O_5					
0	28	10	61	70	17
90	27	9	61	59	17
180	29	9	62	67	16
360	28	9	61	57	16
Torta					
Presença	28	10	61	59	16
Ausência	28	9	61	68	17
	----- Teste F -----				
Fonte	0,1 ns	1,8 ns	1,2 ns	0,1 ns	1,3 ns
Dose	1,0 ns	4,6**	0,2 ns	2,2 ns	1,8 ns
Torta	0,1 ns	1,0 ns	0,5 ns	17,0**	0,1 ns
Fonte x Dose	0,4 ns	0,4 ns	2,0 ns	1,8 ns	1,5 ns
Fonte x Torta	0,4 ns	0,6 ns	1,7 ns	2,0 ns	2,3 ns
Dose x Torta	2,1 ns	5,6**	0,1 ns	0,7 ns	1,1 ns
Fonte x Dose x Torta	0,3 ns	0,4 ns	1,4 ns	0,6 ns	0,6 ns
CV (%)	13,2	7,5	8,5	14,4	8,0

** e ns: significativo ($P < 0,01$) e não significativo respectivamente, pelo teste F.

Alguns teores abaixo da faixa de suficiência podem ser explicados pelo fato de que quando a planta acumula matéria seca em curto período, há diluição dos elementos na biomassa, inclusive nas folhas, e este efeito tem sido designado de efeito diluição (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Outro fato é que as variedades de cana-de-açúcar possuem distinta capacidade de absorção de nutriente (SUNDARA, 1994), assim como ocorre influência das condições pedoclimáticas inerentes a cada região. Os padrões clássicos utilizados para

comparação foram obtidos há alguns anos e, depois disso, surgiram variedades novas, práticas de manejo foram alteradas, dentre outros fatores que podem contribuir para as variações nos teores foliares de nutrientes.

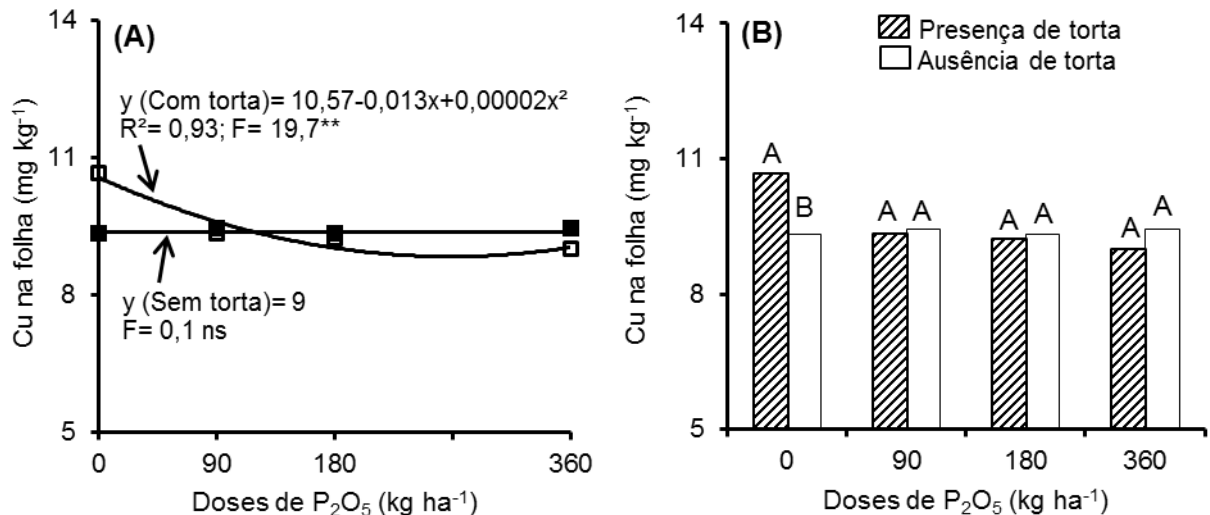


Figura 10. Teor foliar de Cu, aos oito meses após a brotação, em função da interação entre doses de P e torta de filtro (A e B) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. ** e ns: significativo ao nível de 0,01 de probabilidade e não significativo. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Figura B: DMS: 0,67.

6.3. Atividade da fosfatase ácida foliar, acúmulo de fósforo e produção da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

6.3.1. ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico

Houve interação entre fontes de P x torta e entre doses de P x torta para a atividade da fosfatase ácida (APase) (Tabela 11). Na presença da torta de filtro não houve diferença entre as fontes de P para a atividade enzimática (Figura 11 A); no entanto, na sua ausência, o superfosfato triplo resultou em menor valor médio, fato que está relacionado com o maior teor de P disponível no solo e maior teor foliar do nutriente aos quatro meses, pois menor atividade dessa enzima tem sido associada a altos teores celulares de P inorgânico (BOZZO; DUNN; PLAXTON, 2006).

Para o efeito da torta de filtro em cada fonte de P, nota-se que na sua presença ocorreu menor atividade dessa enzima ao se utilizar fosfato de Araxá e fosfato Bayóvar, mas com o superfosfato triplo não houve diferença. A presença da

torta de filtro resultou em menor atividade enzimática quando se aplicaram as doses 0, 90 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e com 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não houve diferença (Figura 11 B), o que pode ser explicado pelo alto suprimento em P, não havendo melhorias na nutrição fosfatada com a presença do composto na dose mais elevada de P.

Tabela 11. Atividade da fosfatase ácida (APase), acúmulo de fósforo nos colmos (P colmos), na palhada (P palhada), total (P total), comprimento (CC), diâmetro (DC) e número de colmos (NC) e produtividade de palhada (palha) e de colmos (colmo) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha⁻¹), na presença (7,5 t ha⁻¹) e na ausência de torta de filtro. Catanduva, SP, Brasil, 2013.

	APase nmol min ⁻¹ mg ⁻¹	P colmos ----- kg ha ⁻¹	P palhada ----- kg ha ⁻¹	P total ----- kg ha ⁻¹	CC m	DC mm	NC	Palha ----- t ha ⁻¹	Colmo ----- t ha ⁻¹
Fontes de P									
Araxá	2340,9	24,8	13,1	37,9	3,4	28,5	15	21,2	217,4
Bayóvar	2309,5	23,5	12,8	36,3	3,4	28,7	15	21,3	209,7
Superf. Triplo	2284,0	25,4	15,3	40,7	3,4	28,6	16	22,0	221,0
Doses de P₂O₅									
0	2346,7	20,8	9,9	30,7	3,4	28,4	13	18,7	182,0
90	2402,7	25,2	13,7	38,9	3,4	28,6	17	22,3	221,0
180	2324,4	25,9	16,9	42,8	3,5	28,5	16	24,2	232,0
360	2172,6	26,3	14,4	40,7	3,3	28,8	16	20,8	229,1
Torta									
Presença	2079,5	28,9	15,0	43,9	3,4	28,6	16	22,3	222,5
Ausência	2543,4	20,3	12,5	32,8	3,4	28,6	15	20,7	209,6
Teste F									
Fonte (F)	0,4 ns	1,3 ns	2,6 ns	2,9 ns	0,5 ns	0,1 ns	0,4 ns	0,2 ns	1,3 ns
Dose (D)	3,3*	6,4**	8,6**	12,4**	1,8 ns	0,5 ns	5,9**	3,5**	16,0**
Torta (T)	73,2**	73,0**	6,6*	54,7**	1,1 ns	0,1 ns	0,0 ns	1,7 ns	5,0*
F x D	1,5 ns	0,5 ns	0,6 ns	0,5 ns	0,2 ns	0,3 ns	1,1 ns	0,7 ns	1,0 ns
F x T	7,1**	0,5 ns	0,6 ns	1,0 ns	1,0 ns	0,8 ns	0,2 ns	0,6 ns	0,1 ns
D x T	16,6**	1,6 ns	0,3 ns	1,4 ns	0,7 ns	1,3 ns	2,2 ns	0,4 ns	1,4 ns
F x D x T	2,3 ns	0,7 ns	0,6 ns	0,7 ns	1,1 ns	0,3 ns	0,5 ns	0,4 ns	0,1 ns
CV (%)	10,0	17,4	29,3	16,7	5,3	3,5	14,9	24,1	11,4

**, * e ns: significativo (P<0,01); (P<0,05) e não significativo respectivamente, pelo teste F.

Na ausência da torta de filtro, as doses de P proporcionaram redução linear na atividade da APase (Figura 11 C); porém, na presença da torta de filtro não houve efeito sobre a atividade enzimática. Este fato demonstra que apenas a torta de filtro na ausência de aplicação de P já promoveu redução na atividade da APase, o que é reflexo do suprimento adequado de P com este tratamento, em que o teor foliar encontrava-se na faixa adequada (RAIJ; CANTARELLA, 1997) na época de amostragem foliar (1,8 g kg⁻¹ de P aos oito meses) (Figura 8 A).

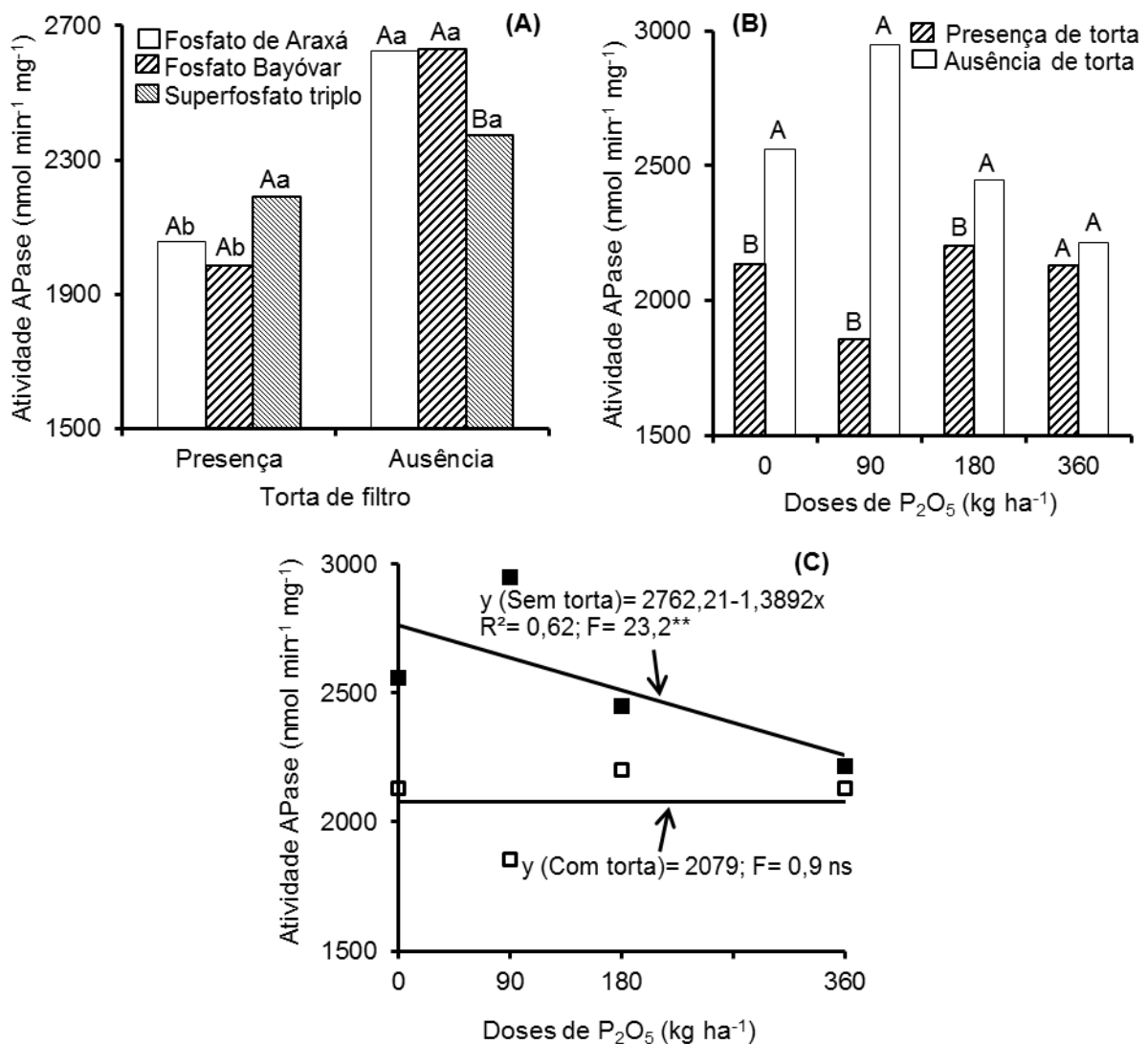


Figura 11. Atividade da fosfatase ácida (APase), em função de fontes de P e torta de filtro (A) e doses de P e torta de filtro (B e C) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de P dentro de torta. Letras minúsculas comparam o efeito da torta em cada fonte. ** e ns: significativo ao nível de 0,01 de probabilidade e não significativo. Figura A: DMS (fonte): 227,60; DMS (torta): 189,10. Figura B: DMS: 218,36.

O acúmulo de P nos colmos, na palhada e total foi influenciado pelas doses de P e pela torta de filtro, não havendo efeito das fontes e nem das interações entre os fatores (Tabela 11). A presença da torta proporcionou maiores taxas de acúmulo de P na palhada e nos colmos, resultando num acúmulo total de 39% superior ao P acumulado na sua ausência.

As doses de P aplicadas na ausência de torta proporcionaram incremento linear no acúmulo de P nos colmos (Figura 12 A). Na maior dose foram acumulados

24,5 kg ha⁻¹ de P, sendo um aumento de apenas 7,6 kg em relação à ausência de P (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Na presença da torta as doses de P não influenciaram o acúmulo de P nos colmos, apresentando valor médio de 28,8 kg ha⁻¹ de P, superior ao acúmulo obtido com a maior dose de P na ausência de torta. Este resultado demonstra que, mesmo sem uso de P, a torta foi eficiente para o fornecimento de P para a cana planta.

Houve aumento com ajuste quadrático no acúmulo de P na palhada, em função das doses de P, tanto na presença quanto na ausência de torta, com pontos de máximos (17,5 e 16,5 kg ha⁻¹ de P) obtidos nas doses de 222 e de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na presença e na ausência de torta de filtro, respectivamente (Figura 12 B). Portanto, o acúmulo total máximo de P pela cana-de-açúcar foi de 48 e de 39,9 kg ha⁻¹ de P, obtidos com as doses de 229 e de 255 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na presença e na ausência de torta de filtro, respectivamente (Figura 12 C).

Os componentes de produção, comprimento e diâmetro de colmos, não foram influenciados pelos tratamentos; no entanto, o número de colmos foi influenciado pelas doses de P (Tabela 11). O maior número de colmos foi obtido com 174 e com 268 kg ha⁻¹ de P₂O₅, obtendo 17 e 16 colmos por metro, na presença e na ausência de torta de filtro, respectivamente (Figura 12 D). Nota-se que para a obtenção do ponto de máximo, com a torta de filtro foram necessários 94 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a menos do que a aplicação de P sem a torta de filtro.

Houve efeito apenas das doses de P sobre a produtividade de palhada (Tabela 11), sendo obtidas 25,3 t ha⁻¹ com 191 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na presença de torta (Figura 12 E). Na ausência da torta não houve efeito das doses de P sobre a produção de palhada.

Para a produtividade de colmos as doses de P e a torta de filtro foram os fatores que apresentaram efeito isolado (Tabela 11). Na presença da torta a produtividade foi 6% superior à produtividade obtida na sua ausência. O incremento na produtividade reflete os efeitos do resíduo orgânico sobre o aumento nos teores de P no solo, na planta e redução da atividade da APase, em relação à ausência de sua aplicação.

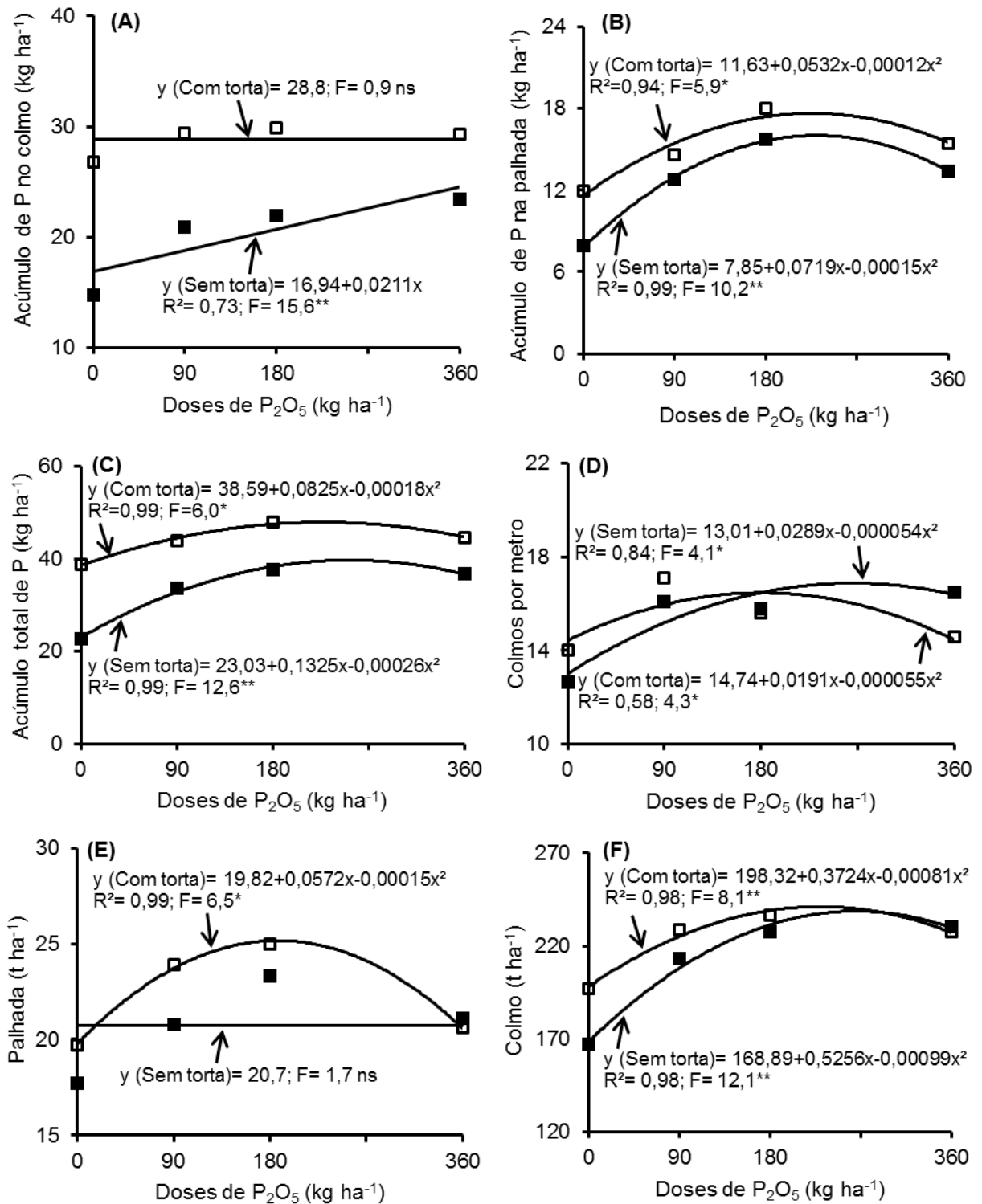


Figura 12. Acúmulo de P nos colmos (A), na palhada (B) e acúmulo total (C), número de colmos por metro (D), produtividade de palhada (E) e de colmos (F) da cana-de-açúcar, em função de doses de P em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. **, * e ns: significativo a 0,01, 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Para as doses de P, tanto na presença quanto na ausência da torta, houve aumento da produtividade de colmos que se ajustaram ao modelo quadrático (Figura 12 F). Na presença da torta a maior produtividade (241 t ha^{-1}) foi obtida com 230 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e na ausência da torta foram necessários 265 kg ha^{-1} de P_2O_5 para se atingir o ponto de máximo (239 t ha^{-1}), ou seja, 35 kg ha^{-1} de P_2O_5 a mais do que na presença da torta de filtro. Portanto, o número de colmos foi o principal componente de produção que contribuiu para o aumento de produtividade, havendo alto coeficiente de correlação positiva ($r = 0,78^{**}$), seguido do diâmetro de colmos ($r = 0,26^{**}$). Outras variáveis que apresentaram correlação significativa e positiva com a produtividade de colmos foram: acúmulo de P nos colmos ($r = 0,55^{**}$), na palhada ($r = 0,42^{**}$) e acúmulo total ($r = 0,59^{**}$), evidenciando a importância da nutrição fosfatada para o aumento da produção.

6.3.2. LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

Houve interação entre os fatores para a atividade da fosfatase ácida foliar (Tabela 12). Na dose de 90 e de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o superfosfato triplo proporcionou menor atividade enzimática do que o fosfato de Araxá (Figura 13 A). Ao se utilizar 360 kg ha^{-1} de P_2O_5 os menores valores de atividade enzimática foram para o fosfato de Araxá. Para a aplicação de doses de P nas diferentes fontes, houve decréscimos na atividade com o aumento das doses de P, havendo ajuste linear para o fosfato de Araxá e ajuste quadrático para o fosfato Bayóvar e o superfosfato triplo (Figura 13 B).

Na presença da torta de filtro, o fosfato de Araxá proporcionou menor atividade da APase, seguido do superfosfato triplo (Figura 13 C). Na ausência da torta, a menor atividade foi obtida com o superfosfato triplo e com o fosfato Bayóvar. Para o efeito da torta em cada fonte, nota-se que houve efeito apenas ao se utilizar o fosfato de Araxá, havendo menor atividade da APase na presença da torta, em relação à sua ausência.

A aplicação de doses de P, na ausência da torta, resultou em decréscimo linear na atividade da APase (Figura 13 D), não havendo efeitos na presença da torta. A ausência de resposta com a aplicação de doses de P na presença da torta atribui-se ao fornecimento de P pela torta, sendo que, mesmo sem uso de P (0 kg

ha⁻¹ de P₂O₅) a atividade da APase foi baixa, fato que reflete o suprimento de P para as plantas com este tratamento. Portanto, em ambos os experimentos (Argissolo e Latossolo) houve menor atividade da APase nos tratamentos com maior teor foliar de P.

Tabela 12. Atividade da fosfatase ácida (APase), acúmulo de fósforo nos colmos (P colmos), na palhada (P palhada), total (P total), comprimento (CC), diâmetro (DC) e número de colmos (NC) e produtividade de palhada (palha) e de colmos (colmo) da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha⁻¹), na presença (7,5 t ha⁻¹) e na ausência de torta de filtro. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.

	APase nmol min ⁻¹ mg ⁻¹	P colmos ----- kg ha ⁻¹	P palhada ----- kg ha ⁻¹	P total ----- kg ha ⁻¹	CC m	DC mm	NC	Palha ----- t ha ⁻¹	Colmo ----- t ha ⁻¹
Fontes de P									
Araxá	2190,7	14,8 b	10,7	25,4	3,4	27,1	12	13,7	146,1
Bayóvar	2247,2	14,8 b	11,0	25,7	3,4	26,9	11	15,1	146,0
Superf. Triplo	2046,8	16,8 a	10,2	27,0	3,4	27,1	12	14,2	151,3
Doses de P₂O₅									
0	2584,9	12,9	8,9	21,8	3,4	27,1	11	13,4	141,2
90	1943,2	14,4	11,2	25,6	3,3	26,7	12	14,4	139,1
180	2104,8	17,9	10,8	28,7	3,5	27,2	13	15,2	164,9
360	2013,3	16,5	11,6	28,1	3,4	27,1	12	14,2	146,0
Torta									
Presença	1992,3	18,1	11,5	29,6	3,4	27,0	12	14,8	157,1
Ausência	2330,9	12,7	9,8	22,5	3,4	27,1	11	13,8	138,4
Teste F									
Fonte (F)	3,2*	5,0*	0,3 ns	0,8 ns	0,6 ns	0,2 ns	0,3 ns	1,4 ns	0,4 ns
Dose (D)	19,0**	12,5**	2,4 ns	8,1**	2,1 ns	1,0 ns	4,0*	1,2 ns	4,6**
Torta (T)	25,9	77,3**	4,7*	41,9**	1,4 ns	0,0 ns	1,8 ns	2,3 ns	11,6**
F x D	7,3**	2,0 ns	0,7 ns	1,1 ns	1,1 ns	0,3 ns	0,5 ns	2,3 ns	0,6 ns
F x T	26,4**	0,6 ns	0,1 ns	0,4 ns	0,5 ns	2,1 ns	0,1 ns	0,0 ns	0,1 ns
D x T	70,1**	0,1 ns	1,4 ns	0,7 ns	2,6 ns	2,5 ns	0,7 ns	2,0 ns	0,7 ns
F x D x T	12,6**	1,0 ns	1,7 ns	1,6 ns	0,6 ns	1,2 ns	0,6 ns	2,3 ns	0,6 ns
CV (%)	13,1	16,9	29,3	17,7	5,6	3,6	14,1	20,1	15,7

**; * e ns: significativo (P<0,01); (P<0,05) e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

A fosfatase ácida está associada à remobilização de P nas plantas e, em caso de baixa disponibilidade de P, tem-se reflexo na atividade enzimática na planta. Como resposta à carência de P, as plantas apresentam menor eficiência de utilização de P e maior atividade da APase na folha, no caule e na raiz (NUNES et al., 2008). Assim, maior atividade dessas enzimas tem sido associada a baixos teores celulares de P inorgânico (BOZZO, DUNN; PLAXTON, 2006; NUNES et al., 2008), havendo correlação negativa entre a atividade das fosfatases e os teores foliares de P (NANAMORI et al., 2004).

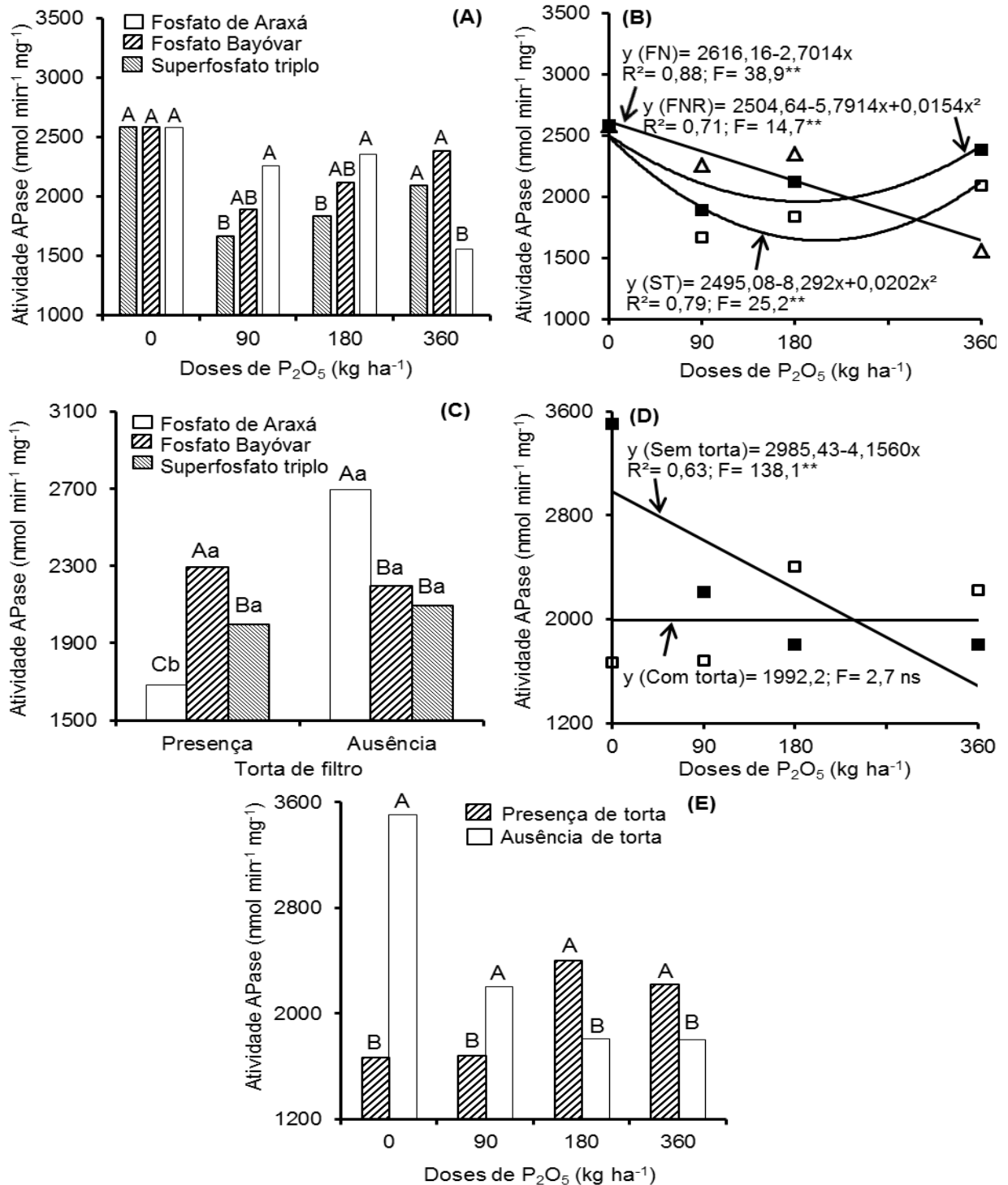


Figura 13. Atividade da fosfatase ácida (APase), em função de fontes e doses de P (A e B), fontes de P e torta de filtro (C) e doses de P e torta de filtro (D e E) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de P dentro de torta. Letras minúsculas comparam o efeito da torta em cada fonte. ** e ns: significativo ao nível de 0,01 de probabilidade e não significativo, respectivamente. FN= Fosfato de Araxá; FNR= Fosfato Bayóvar e ST= Superfosfato triplo. Figura A: DMS: 394,98. Figura C: DMS (fonte): 279,29; DMS (torta): 232,05. Figura E: DMS: 267,95.

Neste sentido, no presente estudo, observou-se correlação significativa e negativa entre a atividade da APase e o acúmulo total de P ($r = -0,27^{**}$) e com o teor de P-res na profundidade de 0-20 cm ($r = -0,28^*$). Ressalta-se que os coeficientes de correlação, apesar de significativos, foram baixos.

O acúmulo de P nos colmos foi superior ao se utilizar o superfosfato triplo (Tabela 12). Na presença da torta foram acumulados $5,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de P a mais do que o acúmulo na ausência da torta. Para o efeito das doses de P, houve aumento com ajuste quadrático no acúmulo de P nos colmos (Figura 14 A). Na presença da torta, a dose que proporcionou o máximo acúmulo de P ($20,6 \text{ kg ha}^{-1}$) foi de 260 kg ha^{-1} de P_2O_5 e, na ausência da torta, o maior acúmulo de P ($14,7 \text{ kg ha}^{-1}$) foi com a dose de 259 kg ha^{-1} de P_2O_5 . O acúmulo de P na palhada foi influenciado apenas pela torta de filtro, havendo maior acúmulo na sua presença (Tabela 12).

O acúmulo total de P, na presença da torta foi de $7,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de P a mais do que na ausência da torta (Tabela 12). Com a aplicação de doses de P, na presença da torta, houve aumento no acúmulo total de P com ajuste quadrático, obtendo o ponto de máximo ($33,4 \text{ kg ha}^{-1}$) com a dose de 240 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 14 B). Na ausência da torta o aumento foi linear, no entanto, mesmo na maior dose de P o acúmulo total foi de $26,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de P. O acúmulo total de P obtido no presente estudo foi superior a alguns valores descritos por outros autores, sobretudo, no experimento realizado no Argissolo, devido à alta produtividade de fitomassa. O acúmulo total de P do presente estudo foi superior aos citados por Oliveira et al. (2010), em cultivo sob irrigação (25 kg ha^{-1} de P).

Observa-se em ambos os solos que o efeito dos tratamentos foi semelhante, havendo maior acúmulo de P com a aplicação de doses do nutriente na presença da torta. Com o aumento da disponibilidade de P no solo (Figuras 2 C e D e 5 A e B), observou-se maior absorção do nutriente pela planta, refletindo em maior teor foliar (Figuras 7 A, 8 A e 9 A e C), menor atividade da APase (Figuras 11 C e 13 B e D) e maior acúmulo de P (Figuras 12 C e 14 B). Como resultado disso tem-se maior taxa de armazenamento de energia, dada a importância do P para a síntese do ATP e de numerosos outros compostos fosforilados (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Com isso, ocorre maior desenvolvimento radicular, maior perfilhamento e produção (DEVI et al., 2012). Portanto, a associação de uma fonte de fertilizante fosfatado com resíduo

orgânico tem resultado em maior absorção do P pelas plantas e refletindo na produtividade (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011).

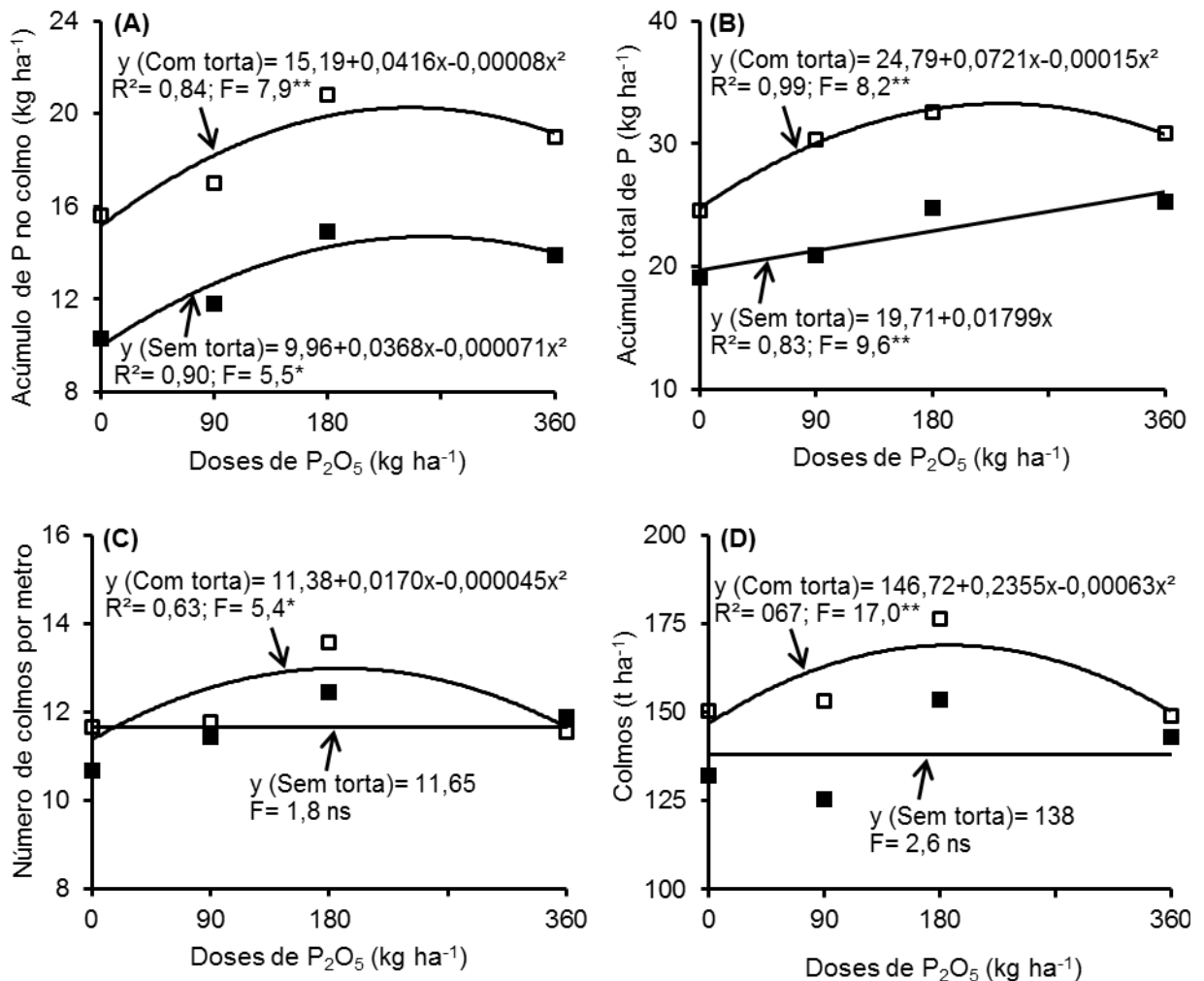


Figura 14. Acúmulo de P nos colmos (A), acúmulo total de P (B), número de colmos por metro (C) e produtividade de colmos (D) da cana-de-açúcar, em função de doses de P em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. *, ** e ns: significativo ao nível de 0,05; 0,01 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Resultados semelhantes foram obtidos por Caione, Fernandes e Lange (2013) que verificaram que ao se utilizar o superfosfato triplo ocorreu aumento no teor do nutriente no solo, no acúmulo de P pela parte aérea da cana planta, sendo de 16 kg ha⁻¹ de P e aumento de produtividade. Com a aplicação de superfosfato triplo em ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, Korndörfer e Melo (2009) verificaram que foram acumulados 14 kg ha⁻¹ de P na parte aérea e a produtividade média de colmos foi de 143 t ha⁻¹.

Os componentes de produção, comprimento e diâmetro de colmos não foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 12). O número de colmos por metro foi influenciado pelas doses de P, havendo maior número (13 colmos por metro) com a dose de 189 kg ha^{-1} de P_2O_5 na presença da torta (Figura 14 C). Na ausência da torta de filtro, não houve efeito das doses de P.

A produtividade de palhada não foi influenciada pelos tratamentos (Tabela 12). Houve efeito da torta de filtro e das doses de P sobre a produtividade de colmos. Na presença da torta, a produtividade foi 13,5% superior a produtividade obtida na sua ausência. Observa-se que no Latossolo o incremento de produtividade com o uso da torta de filtro foi ainda maior do que o incremento observado no Argissolo, o qual foi de 6%.

Com a aplicação de doses de P, na presença da torta, houve aumento de produtividade de colmos que se ajustou ao modelo quadrático, obtendo produtividade de 169 t ha^{-1} com a dose de 187 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 14 D). Na ausência da torta não observou-se efeito das doses de P, sendo a produtividade média de 138 t ha^{-1} . Portanto, a produtividade máxima obtida com a aplicação de doses de P, na presença da torta, foi 24% superior a média obtida na ausência da torta.

Conforme observado no experimento realizado no Argissolo, o número de colmos foi o principal componente de produção que contribuiu para o aumento de produtividade, havendo correlação significativa e positiva ($r = 0,58^{**}$), seguido do diâmetro de colmos ($r = 0,29^*$) e do comprimento de colmos ($r = 0,28^*$). Outras variáveis que apresentaram correlação significativa e positiva com a produtividade de colmos foram: P-res na profundidade de 0-20 cm ($r = 0,31^{**}$), P-res na profundidade de 20-40 cm ($r = 0,34^{**}$), acúmulo de P nos colmos ($r = 0,79^{**}$), na palhada ($r = 0,37^{**}$) e acúmulo total ($r = 0,74^{**}$), evidenciando a importância da nutrição fosfatada para o aumento da produção.

As doses de P proporcionaram aumentos nos teores de P disponível no solo e absorção pelas plantas, refletindo na maior produtividade (Figuras 12 F e 14 D), especialmente na presença da torta de filtro, em relação a sua ausência. Na literatura é amplamente relatado aumento de produtividade, em função da adubação fosfatada na cana planta (SHANKARAIH; MURTHY, 2005; BOKHTIAR; PAUL;

ALAM, 2008; KORNDÖRFER; MELO, 2009; SANTOS et al., 2009; SANTOS et al., 2010; CAIONE et al., 2011; DEVI et al., 2012; CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013; TSADO et al., 2013). Um estudo em 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; FERNANDES; LANGE et al., 2013). 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 ($102,5 \text{ t ha}^{-1}$) 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 $62,5 \text{ t ha}^{-1}$, representando, portanto, incremento de 64%.

Dentre os principais benefícios 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; PAUL; ALAM, 2008; CAIONE et al., 2011; DEVI et al., 2012). Neste contexto, há aumentos de até 191% na população de perfilhos da cana-de-açúcar com a redução de 25% da adubação mineral e adição de 15 t ha^{-1} de torta de filtro, refletindo em maior produtividade de colmos (BOKHTIAR; PAUL; ALAM, 2008). Os autores descrevem que a associação entre fertilizantes inorgânicos e orgânicos é de fundamental importância para manter a fertilidade do solo e obter altos rendimentos da cana-de-açúcar. E, apenas com a aplicação 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} . Este resultado foi confirmado no presente estudo, em que a presença da torta elevou os teores de P no solo (Tabelas 1 e 2) e na planta (Tabelas 3, 5, 7 e 9), refletindo em maior acúmulo do nutriente e maior produtividade de colmos (Tabelas 11 e 12).

Portanto, com o uso da torta de filtro (10 t ha^{-1} , base úmida) podem ser reduzidas as dependências por fertilizantes químicos em até 25% (RAKKIYAPPAN et al., 2001). E, com o enriquecimento da torta (15 t ha^{-1} , base úmida) com *Azotobacter* e *Bacillus megatherium* os efeitos podem ser ainda maiores, perfazendo 21% de incremento de produtividade, em relação à adubação química, podendo reduzir em 50% a adubação química (SHANKARAIAH; MURTHY, 2005).

6.4. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

6.4.1. ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico

Os tratamentos demonstraram não exercer efeito sobre a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, exceto para o açúcar total recuperável (ATR) em que o superfosfato triplo promoveu maiores valores, em relação ao fosfato de Araxá (Tabela 13).

Tabela 13. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro. Catanduva, SP, Brasil, 2013.

	Brix	Pol	Pureza ----- % -----	Fibra	Pcc	ATR kg t^{-1}
Fontes de P						
Araxá	16,7	14,1	84,4	11,5	12,0	120,5 b
Bayóvar	16,9	14,1	83,5	11,5	12,1	122,5 ab
Superfosfato triplo	17,0	14,4	84,7	11,6	12,3	124,5 a
Doses de P_2O_5						
0	16,8	13,9	82,7	11,4	11,9	121,1
90	16,8	14,2	84,6	11,5	12,1	122,0
180	16,9	14,3	84,6	11,5	12,2	122,8
360	17,0	14,5	85,2	11,6	12,3	124,2
Torta						
Presença	16,8	14,2	84,5	11,5	12,1	122,1
Ausência	16,9	14,3	84,6	11,6	12,2	123,0
	----- Teste F -----					
Fonte	1,8 ns	2,9 ns	1,7 ns	0,7 ns	2,3 ns	8,1*
Dose	0,6 ns	2,3 ns	1,7 ns	0,4 ns	2,4 ns	2,6 ns
Torta	0,2 ns	1,3 ns	1,8 ns	0,4 ns	0,3 ns	1,3 ns
Fonte x Dose	0,7 ns	0,9 ns	0,4 ns	0,3 ns	0,7 ns	1,6 ns
Fonte x Torta	0,5 ns	0,4 ns	0,7 ns	0,1 ns	1,1 ns	0,5 ns
Dose x Torta	0,4 ns	0,3 ns	1,2 ns	0,7 ns	0,4 ns	1,9 ns
Fonte x Dose x Torta	0,8 ns	0,4 ns	0,2 ns	0,1 ns	0,5 ns	1,4 ns
CV (%)	3,2	3,7	1,4	3,5	3,6	2,8

* e ns: significativo ($P < 0,05$) e não significativo pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Em estudo com doses de P na forma de superfosfato triplo e doses de torta de filtro em ARGISSOLO VERMELHO Distrófico, Santos et al. (2011) verificaram que o P aplicado no sulco de plantio aumentou os teores de Brix e de Pol nos colmos (variedade RB867515), resultado que indica efeito do P sobre a qualidade tecnológica. Por outro lado, Pereira, Faria e Morgado (1995) não observaram efeito

da adubação fosfatada nas características tecnológicas da cana-de-açúcar, assim como Lima et al. (2006) e Korndörfer e Melo (2009) que observaram ausência de efeito da adubação mineral fosfatada sobre o teor de Pol.

6.4.2. LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

Assim como ocorreu no experimento realizado no Argissolo (exceto o efeito de fontes de P sobre o ATR), os tratamentos não exerceram efeito sobre a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (Tabela 14).

Tabela 14. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, em função de fontes e doses de fósforo (kg ha^{-1}), na presença ($7,5 \text{ t ha}^{-1}$) e na ausência de torta de filtro. Santa Adélia, SP, Brasil, 2013.

	Brix	Pol	Pureza ----- % -----	Fibra	Pcc	ATR kg t ⁻¹
Fontes de P						
Araxá	17,7	15,1	85,4	11,6	12,8	129,4
Bayóvar	18,0	15,4	85,6	11,9	13,1	131,3
Superfosfato triplo	17,9	15,3	85,9	11,7	13,1	131,3
Doses de P ₂ O ₅						
0	18,1	15,3	84,5	11,8	13,1	131,5
90	17,8	15,1	85,0	11,7	12,9	129,6
180	17,9	15,3	85,0	11,7	13,1	131,1
360	17,7	15,3	86,4	11,7	13,0	130,4
Torta						
Presença	17,9	15,2	84,9	11,7	13,0	130,8
Ausência	17,8	15,3	85,9	11,8	13,0	130,5
	----- Teste F -----					
Fonte	1,1 ns	1,7 ns	1,1 ns	2,5 ns	1,6 ns	1,5 ns
Dose	1,5 ns	0,3 ns	1,0 ns	0,6 ns	0,7 ns	0,6 ns
Torta	0,3 ns	0,7 ns	0,6 ns	0,2 ns	0,0 ns	0,1 ns
Fonte x Dose	0,6 ns	0,4 ns	0,2 ns	1,4 ns	0,6 ns	0,5 ns
Fonte x Torta	0,6 ns	0,7 ns	0,6 ns	0,8 ns	0,6 ns	0,6 ns
Dose x Torta	1,2 ns	1,3 ns	1,8 ns	1,3 ns	0,7 ns	0,7 ns
Fonte x Dose x Torta	0,4 ns	0,1 ns	2,2 ns	1,4 ns	0,4 ns	0,3 ns
CV (%)	3,4	4,6	2,0	3,3	3,7	3,3

ns: não significativo pelo teste F.

Pelos resultados obtidos (Tabelas 13 e 14), a qualidade tecnológica da cana planta apresentou características semelhantes às obtidas por Fonseca (2011) com a variedade RB855156 na região de Jaboticabal, SP. Os valores encontraram-se adequados quanto aos padrões aceitos para caracterizar o estágio de cana madura (STUPIELLO, 1987). Portanto, estes resultados evidenciam que a cana-de-açúcar, mesmo estando com apenas 12 meses, já se encontrava adequada para indústria.

Para a Pol, valores acima de 14% são indicativos de matéria prima de boa qualidade (RIPOLI; RIPOLI, 2004). E, de acordo com a Consecana (2006), a unidade industrial poderá recusar o recebimento de carregamentos com pureza do caldo abaixo de 75%.

De forma geral, são vários os resultados que mostram efeito da adubação fosfatada sobre o aumento de produtividade; no entanto, a qualidade tecnológica é menos afetada. Este fato pode ser explicado pela influencia de outros fatores como clima, variedades e manejo do solo, dificultando a avaliação do efeito de fertilizantes sobre estes parâmetros (PEREIRA; FARIA; MORGADO et al., 1995).

Outros autores também não verificaram efeito da adubação fosfatada (superfosfato simples e fosfato de rocha associados à torta de filtro) sobre a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (SHANKARAIAH; HUNSIGI; NAGARAJU, 2000). Em estudo com fontes de P também não foram observados efeitos sobre a Pol (ELSAYED et al., 2008; DEVI et al., 2012). Com diferentes proporções de adubação NPK (50%, 75% e 100% da dose recomendada) associada à torta de filtro (10 t ha^{-1}), a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (variedade Co-8021) não foi influenciada (RAKKIYAPPAN et al., 2001). Os autores descrevem que a qualidade tecnológica está mais relacionada ao material genético, embora a adubação possa influenciar, porém de maneira menos efetiva. Este resultado também foi observado por Shankaraiah e Murthy (2005) e por Bokhtiar, Paul e Alam (2008), avaliando a adubação mineral associada à torta.

7. CONCLUSÕES

A aplicação de doses de fósforo, independentemente da fonte, aumentou a disponibilidade do nutriente no solo, o crescimento da cana-de-açúcar, melhorou a nutrição fosfatada da cana planta e incrementou a produtividade, no entanto, não influenciou a qualidade tecnológica.

A determinação do teor de fósforo no solo pelo método resina mostrou-se mais adequado que o remanescente.

A diagnose foliar em fósforo pode ser realizada seguindo ambos os critérios de recomendação de amostragem.

A atividade da fosfatase ácida não demonstrou eficiência no diagnóstico nutricional em fósforo.

Em ambos os solos os efeitos dos tratamentos foram semelhantes, no entanto, a produtividade obtida no Argissolo foi superior à do Latossolo.

8. REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração química para avaliação da eficiência de fertilizantes fosfatados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 589-603. Anais do Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira, 2003.
- 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 da SBCS**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.
- 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.
- 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.
- 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 Agronômico, 1983. 48 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 activity in the leaves of seven plant species. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 30, n. 3, p. 281-285, 2006.
- 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.
- BOZZO, G. G.; DUNN, E. L.; PLAXTON, W. C. Differential synthesis of phosphate-starvation inducible purple acid phosphatase isozymes in tomato (*Lycopersicon esculentum*) suspension cells and seedlings. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 29, n. 2, p. 303-313, 2006.

CAIONE, G.; FERNANDES, F. M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos 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.

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, 2011.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 2009. 77 p.

CAZETTA, J. O.; FONSECA, I. M.; PRADO, R. M. Perspectivas de uso de métodos diagnósticos alternativos: testes bioquímicos. In: PRADO, R. M.; CECILIO FILHO, A. B.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P. (Ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/FAPESP/CAPEF/FUNDUNESP, p. 109-134, 2010.

CIB (CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA). **Guia da cana-de-açúcar: avanço científico beneficia o país**. [São Paulo, 2009]. 20 p. Disponível em: <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/guia_cana.pdf>. Acesso em: 25 set. 2013.

CIIAGRO (CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS). **Monitoramento climatológico**. [S.l.], 2009. Disponível em: <www.ciiagro.sp.gov.br>. Acesso em: 14 ago. 2013.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2013/2014, segundo levantamento**. Brasília, DF, ago. 2013. 19 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf>. Acesso em: 25 set. 2013.

CONSECANA - SP (CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 111 p. Disponível em: <http://www.orplana.com.br/manual_2006.pdf>. Acesso: em 25 set. 2013.

CTC (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA). **Variedades CTC**. [Piracicaba, 2012]. 34 p. (série 9000). Disponível em: <www.ctcanavieira.com.br/downloads/variedades2012_FINAL.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2012.

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. **Sugar Tech**, Heidelberg, v. 14, n. 2, p. 195-198, 2012.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. V. H.; KER, J. C.; FONTES, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1785-1791, 2008.

ELAMIN, E. A.; EL-TILIB, M. A.; ELNASIKH, M. H.; IBRAHIM, S. H.; ELSHEIKH, M. A.; BABIKER, E. E. The influence of phosphorus and potassium fertilization on the quality of sugar of two sugarcane varieties grown on three soil series of Sudan. **Journal of Applied Sciences**, Faisalabad, v. 7, n. 16, p. 2345-2350, 2007.

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**, New York, v. 27, n. 4, p. 663-699, 2004.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 401 p.

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

ERICH, M. S.; FITZGERALD, C. B.; PORTER, G. A. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Zurich, v. 88, n. 1, p. 79-88, 2002.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

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.

FONTES, M. R.; WEED, S. B.; BOWEN, L. H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 982-990, 1992.

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.

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.

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

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 43, n. 2, p. 189-202, 2005.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R. P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Advance in Agronomy**, San Diego, v. 56, n. 3, p. 139-185, 1996.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31 p. (NRS – SBCS Boletim Técnico, 3).

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**, New York, v. 25, n. 9, p. 1987-2000, 2002.

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

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.; 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.

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.

LANDELL, M. G. A. Novas variedades IACSP. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 1, p. 28-30, 2005.

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 de cana-de-açúcar na microrregião de Guarabira na Paraíba. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 27, n. 2, p. 92-99, 2006.

LOGANATHAN, P.; FERNANDO, W. T. Phosphorus sorption by some coconut growing acid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 31, n. 7, p. 709-717, 1980.

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 química agrícola**: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1967. 606 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Elsevier, 1995. 889 p.

MATIAS, G. C. S. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**. 2010. 174 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

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**, Mount Edgecombe, v. 63, p. 153-158, 1989.

NANAMORI, M.; SHIMANO, T.; WASAKI, J.; YAMAMURA, T.; RAO, I. M.; OSAKI, M. Low phosphorus tolerance mechanisms: phosphorus recycling and photosynthetic partitioning in tropical forage grass, *Brachiaria* hybrid cultivar mulato compared with rice. **Plant and cell physiology**, Kyoto, v. 45, n. 4, p. 460-469, 2004.

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, 39 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

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

NUNES, F. N.; CANTARUTTI, R. B.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; TÓTOLA, M. R.; RIBEIRO, B. N. Atividade de fosfatases em gramíneas forrageiras em resposta à disponibilidade de fósforo no solo e à altura de corte das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1899-1909, 2008.

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

NZIGUHEBA, G.; PALM, C. A.; BURESH, R. J.; SMITHSON, P. C. Soil phosphorus fractions and adsorption as effected by organic and inorganic sources. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 198, n. 2, p. 159-168, 1998.

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, MG, v. 30, n. 1, p. 99-110, 2006.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMOES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010.

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.

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

PEREZ, O.; MELGAR, M. Sugarcane response to nitrogen, phosphorus and potassium application in andisol 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, n. 5, p. 921-926, 1988.

PRADO, R. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, New York, v. 2013, p. 1-8, 2013. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/aess/2013/581984/>>. Acesso em: 25 set. 2013.

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

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**, New York, v. 25, n. 3, p. 457-473, 2002.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: 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 Agrônomo, 1997. p. 233-239. (Boletim técnico, 100).

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 Agrônomo, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RAKKIYAPPAN, P.; THANGAVELU, S.; MALATHI, R.; RADHAMANI, R. Effect of biocompost and enriched pressmud sugarcane yield and quality. **Sugar Tech**, Heidelberg, v. 3, n. 3, p. 92-96, 2001.

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, MG, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.

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

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Adubação: resíduos alternativos**. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em: 20 jul. 2013.

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.; 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.; 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, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

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.

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

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. **Sugar Tech**, Heidelberg, v. 2, n. 1, p. 23-28, 2000.

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

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**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 371-375, 1993.

SILVA, V. S. G. **Estado nutricional, qualidade industrial e produtividade de variedades de cana-de-açúcar nos ciclos de cana-planta, primeira e segunda rebrotas**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, 2013.

STEFFENS, D.; LEPPIN, T.; LUSCHIN-EBENGREUTH, N.; YANG, Z. M.; SCHUBERT, S. Organic soil phosphorus considerably contributes to plant nutrition but is neglected by routine soil-testing methods. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Tharandt, v. 173, n. 5, p. 765-771, 2010.

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.

SUNDARA, B. Phosphorus efficiency of sugarcane varieties in a tropical alfisol. **Fertilizer Research**, Netherlands, v. 39, n. 2, p. 83-88, 1994.

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.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Pathways of P transformation in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison v. 48, n. 4, p. 854-858, 1984.

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.

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

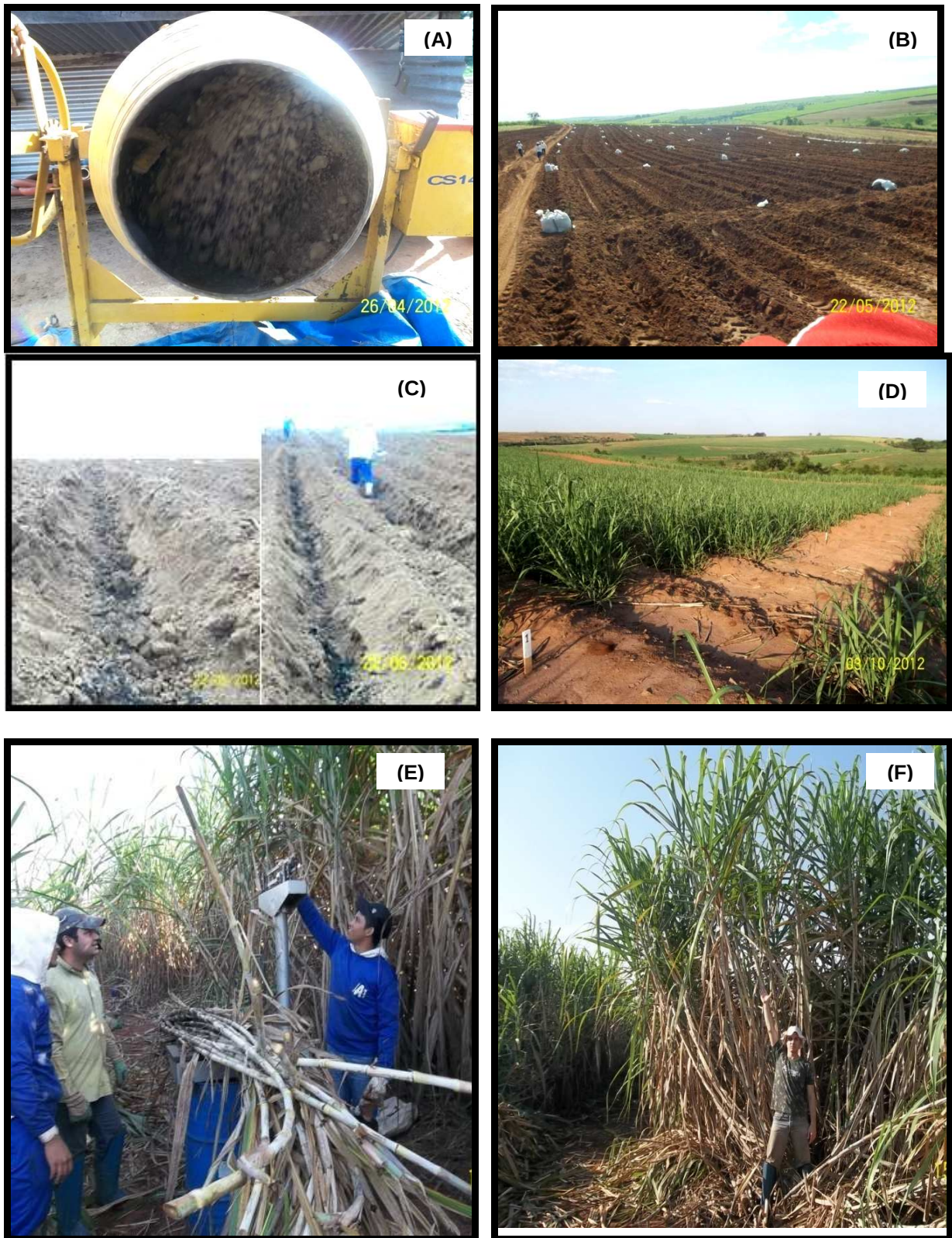


Figura 15. Homogeneização dos fertilizantes (A), distribuição dos fertilizantes na área (B), aplicação dos tratamentos no sulco (C), vista geral do experimento no Argissolo aos 130 dias após o plantio (D); avaliação da produção da cana planta (E) e encerramento das avaliações (F).