

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO RESIDUAL DE DOSES E FONTES DE FÓSFORO  
ASSOCIADO A TORTA DE FILTRO NA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Cid Naudi Silva Campos**

Engenheiro Agrônomo

**2016**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO RESIDUAL DE DOSES E FONTES DE FÓSFORO  
ASSOCIADO A TORTA DE FILTRO NA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Cid Naudi Silva Campos**

**Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado**

**Coorientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque**

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).

**2016**

Campos, Cid Naudi Silva  
C198e Efeito residual de doses e fontes de fósforo associado a torta de  
filtro na cana-de-açúcar/ Cid Naudi Silva Campos. – Jaboticabal, 2016  
xiii, 81 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016  
Orientador: Renato de Mello Prado  
Banca examinadora: Estêvão Vicari Mellis, Aguinaldo José Freitas  
Leal, Mara Cristina Pessôa da Cruz, Everlon Cid Rigobelo  
Bibliografia

1. *Saccharum officinarum* L. 2. Fosfatase ácida 3. Microbiologia do  
solo. 4. Resíduo orgânico. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.811:633.61

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITO RESIDUAL DE DOSES E FONTES DE FÓSFORO ASSOCIADO A  
TORTA DE FILTRO NA CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: CID NAUDI SILVA CAMPOS  
ORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO  
COORIENTADOR: CASSIANO GARCIA ROQUE

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 / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisador ESTEVÃO VICARI MELLIS  
Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Fertilidade do Solo / Instituto Agrônomo de Campinas, SP

Prof. Dr. AQUINALDO JOSÉ FREITAS LEAL  
UFTM / Iturama, MG

Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. EVERLON CID RIGOBELO  
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 02 de dezembro de 2016.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**CID NAUDI SILVA CAMPOS** – nascido em Franca, São Paulo, aos 13 dias do mês de abril de 1988, filho de Regina Célia Silva e Aparecido de Campos. Graduado em Engenharia Agrônômica, pela Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Câmpus Passos (2011). No ano de 2011, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, obtendo o título de Mestre em Agronomia em 2013. Neste mesmo ano, ingressou no curso de Doutorado, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela mesma instituição. Foi bolsista de doutorado da CAPES no Brasil e realizou doutorado-sanduche na Universidad de Cienfuegos – Cuba, onde foi bolsista Capes/MES. Realizou, ainda, missão de estudos na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), no programa de cooperação acadêmica (Procad) entre as universidades: Unesp, UESB e UFMS. Durante o doutorado, foi autor/coautor de 18 artigos científicos, 2 capítulos de livro, 42 resumos, membro de 15 bancas, dentre as quais: defesa de trabalho de conclusão de curso, qualificação de mestrado e defesa de mestrado; coorientou 8 trabalhos de conclusão de curso de agronomia. Ministrou palestras e minicursos em universidades do Brasil e do exterior, realizou estágio docência na disciplina de “Nutrição de Plantas”, na Unesp-FCAV, foi membro representante dos discentes no conselho do programa de pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unesp-FCAV. Participou de várias reuniões científicas, simpósios e congressos nacionais e internacionais, e desenvolveu diversas atividades e projetos na área de Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. Em 2015, foi aprovado em primeiro lugar no concurso público para professor efetivo Assistente na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, onde atua como docente nos cursos de graduação em Agronomia e Engenharia Florestal e como docente colaborador no curso de Mestrado (Produção Vegetal). Atualmente, é membro do Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas (GENPLANT), do Laboratory of Soil Microbiology (LSM) e do Grupo de Desenvolvimento Agrícola no Cerrado Sul-Mato-Grossense.

*“A humildade nos faz sábios, ela é o primeiro degrau da sabedoria”.*

*São Tomás de Aquino.*

*À minha querida e amada mãe Regina Célia Silva, por dedicar sua vida à minha e pelo exemplo de ser humano.*

*Ao padrinho Jackson e à madrinha Maria, pelos cuidados durante toda minha vida.*

*Ao avô Vicente (in memoriam) e à avó Jerônima, por sua sabedoria e humildade.*

*Aos meus familiares e amigos, pela confiança e apoio.*

*Às professoras do ensino básico “Tia Bela, Tia Leila, Tia Silvia e Tia Etelgina”, às quais sou eternamente grato e presto minha homenagem, por terem me alfabetizado e me mostrado o caminho da educação.*

*Aos meus alunos, por me concederem a oportunidade de exercer a mais bela das profissões, a de Professor.*

**Ofereço e Dedico**

## AGRADECIMENTOS

À **Santíssima Trindade**, por estar sempre ao meu lado, iluminando-me e guiando-me pelos caminhos da vida, concedendo-me, sempre, proteção e amparo.

À mãe dos céus, Maria, e aos santos protetores São Bento, São Miguel Arcanjo, São Francisco de Assis, São Benedito e Santo Antônio, pela intercessão divina e pela proteção concedida.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, pela oportunidade de aprendizado.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

À Universidad de Cienfuegos e à Capes/MES, pela oportunidade de aprendizado durante o Programa de Doutorado-Sanduíche no Exterior.

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

Ao meu orientador Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela confiança, conselhos, ensinamentos, oportunidades dadas e auxílio em todo o decorrer do meu curso de doutorado. Agradeço pela valiosa orientação e por ser um exemplo de profissionalismo e dedicação à pesquisa e ao ensino.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque, pelos conselhos, ensinamentos e amizade.

Aos professores(as) e pesquisadores(as) Rogério Falleiros Carvalho, Leónides Castellanos Gonzáles, Mara Cristina Pessôa da Cruz, Fábio Luís Checchio Mingotte, Carmem Betancourt, Estêvão Vicari Melis, Aguinaldo Leal e Everlon Cid Rigobelo, pelos ensinamentos e contribuições a este trabalho.

À minha grande inspiração Regina Célia Silva (mãe e pai), pela compreensão, apoio e pelos ensinamentos de vida que tanto me fortaleceram como pessoa, ensinando-me sempre a trilhar o caminho do bem.



À minha família, tios, tias, padrinho, madrinha, irmã, afilhada, pai, avó, primos (em especial Guilherme Henrique, irmão de república) e primas, pelo convívio e afeto doados.

Ao meu avô materno, Vicente Honório da Silva (*in memoriam*), por sua sabedoria, que hoje consigo entender.

À minha amada noiva Rebeca Rios, pela compreensão, amizade, apoio e, acima de tudo, pelo amor.

À Helenice e às irmãs carmelitas de Jaboticabal, pelas orações e palavras amigas.

Aos meus amigos espalhados pelo mundo, Vander Ferreira, João Paulo Martins, Suzy, Sílvia, Letícia Moroti, Thúlio de Andrade, Renan Silva, Thais Sanches, Guilherme Loureiro, Leonardo Dias, André Bombonato, Gustavo Caione, Adenilson, Thales Lemos, Roberlei, Rhuan, João Vieira, Antônio João de Lima Neto e Leónides Castellanos, pelos ensinamentos, amizade e companheirismo.

Aos amigos da pós-graduação Gustavo Caione (Nariz), Luiz Cláudio (Mito Mancha), Gabriel Barbosa (Lenda), Cláudio Barreto (Claudão), Rafael Barreto (Tatu) e Fábio Mingotte, por todos os auxílios na execução deste trabalho e durante todo o curso de doutorado.

Aos meus companheiros do Genplant (Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas), LSM (Laboratory of Soil Microbiology) e LEA (Laboratório de Enzimologia Aplicada), pelos trabalhos desenvolvidos em equipe.

Aos amigos e técnicos de laboratório da Unesp-FCAV, Luiz Carlos Assis, Ademir e Cláudia Dela Marta.

Ao corpo docente, técnicos de laboratório, funcionários da seção de pós-graduação e bibliotecários da Universidade Estadual Paulista, pela contribuição com a minha formação.

Aos amigos e professores da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul.

Muito obrigado.

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>3</b>
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
4.1 Importância da cana-de-açúcar .....	4
4.2 Importância da nutrição fosfatada na cana-de-açúcar .....	5
4.3 Adubação fosfatada na cana-de-açúcar .....	7
4.4 Torta de filtro e adubação fosfatada.....	10
4.5 Efeitos da torta de filtro e da adubação fosfatada sobre a microbiologia do solo .....	13
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
5.1 Características do local, histórico da área e da cultura .....	16
5.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	19
5.3 Adubação de cobertura e controle de plantas daninhas .....	20
5.4 Avaliações .....	20
5.4.1 Crescimento e/ou desenvolvimento .....	20
5.4.2 Avaliação química do solo .....	21
5.4.3 Determinação de atributos microbiológicos e da atividade enzimática no solo .....	21
5.4.4 Avaliação do estado nutricional .....	24
5.4.5 Determinação da atividade da fosfatase ácida foliar.....	25
5.4.6 Crescimento e produtividade de colmos e produção de palhada .....	26
5.4.7 Acúmulo de P no colmo e na palhada e teor de P no caldo .....	26
5.4.8 Análise tecnológica .....	27
5.5 Análise dos resultados.....	27
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
6.1 Atributos químicos do ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico .....	29
6.2 Indicadores microbiológicos e atividades enzimáticas do ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico .....	34
6.3 Diagnose nutricional da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico .....	41
6.3.1 Diagnose foliar aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar.....	41
6.3.2 Diagnose foliar aos oito meses após a brotação da cana-de-açúcar....	47

6.4 Atividade da fosfatase ácida foliar (APase) e acúmulo de fósforo em cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico .....	53
6.5 Crescimento e produtividade de colmos e de palhada da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico .....	60
6.6 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.....	66
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>69</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>78</b>

## EFEITO RESIDUAL DE DOSES E FONTES DE FÓSFORO ASSOCIADO A TORTA DE FILTRO NA CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** - O acréscimo da torta de filtro na adubação da cana-planta pode substituir e/ou aumentar a eficiência de fertilizantes fosfatados naturais e acidulados beneficiando a atividade microbiológica do solo, a absorção de P e a produtividade da cana-de-açúcar. Objetivou-se avaliar a resposta da primeira soqueira da cana-de-açúcar cultivada em sistema sem despalha a fogo, em função do efeito residual da aplicação de doses e fontes de fósforo, na presença e na ausência da torta de filtro em Argissolo e Latossolo. Os experimentos foram desenvolvidos na primeira soqueira de cana-de-açúcar, em duas classes de solo: Argissolo e Latossolo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições, em esquema fatorial 3x4x2, correspondendo a três fontes de fósforo (superfosfato triplo, fosfato natural de Araxá e fosfato natural reativo Bayóvar<sup>®</sup>), quatro doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0; 90; 180 e 360 kg ha<sup>-1</sup> solúvel em ácido cítrico a 2%), na ausência e na presença de torta de filtro (7,5 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, em base seca). Avaliaram-se os atributos químicos dos solos, indicadores microbiológicos e atividade enzimática no solo, diagnose nutricional, atividade da fosfatase ácida foliar, acúmulo de P na planta, crescimento, produtividade de colmos e de palhada, e qualidade tecnológica. A aplicação de fósforo, independentemente da solubilidade do fertilizante, apresentou efeito residual na primeira soqueira da cana-de-açúcar, proporcionando aumento nos teores de P no solo, na nutrição e na produtividade desta cultura cultivada em Argissolo e Latossolo. A aplicação de fosfatos naturais Bayóvar e Araxá, e da torta de filtro aumentou a atividade microbiológica do Argissolo e do Latossolo. A atividade da fosfatase ácida no solo foi diminuída com as doses de P. As duas recomendações de diagnose foliar apresentaram resultados semelhantes. A atividade da fosfatase ácida foliar demonstrou ser um método eficiente de diagnóstico nutricional de fósforo em cana-de-açúcar. A aplicação de fontes e doses de P e de torta de filtro não promoveu melhoria da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum* L., fosfatase ácida, microbiologia do solo, resíduo orgânico.

## RESIDUAL EFFECT OF PHOSPHORUS SOURCES AND RATES ASSOCIATED WITH FILTER CAKE IN SUGARCANE

**ABSTRACT** – The addition of filter cake for sugarcane-plant fertilization can replace and/or increase the efficiency of natural and acidified phosphate fertilizers, benefiting soil microbiological activity, P uptake and sugarcane productivity. The objective of this study was to evaluate the response of the first sugarcane stalks cultivated in a system without leaf burning, in function of the residual effect of phosphorus sources and rates, in the presence and absence of filter cake in Argisol and Latosol. The experiments were carried out in the first sugarcane ratoon, in two soil classes: Argisol and Latosol. The experiment was set up in a randomized complete block design with three replicates, in a 3x4x2 factorial scheme, corresponding to three sources of phosphorus (triple superphosphate, Araxá natural phosphate and natural Bayóvar<sup>®</sup> reactive phosphate), four P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rates (0, 90, 180 and 360 kg ha<sup>-1</sup> dissolved in 2% citric acid), in the absence and presence of filter cake (7.5 t ha<sup>-1</sup> filter cake, dry basis). Soil chemical attributes, microbiological indicators and enzymatic activity of the soil, nutritional diagnosis, foliar acid phosphatase activity, P accumulation in the plant, growth, stalk and straw productivity, and technological quality were evaluated. The application of phosphorus, regardless of fertilizer solubility, showed residual effect in the first sugarcane ratoon, providing an increase in soil P, nutrient and productivity levels of this crop cultivated in Argisol and Latosol. Application of the natural Bayóvar and Araxá phosphates and filter cake increased the microbiological activity of the Argisol and the Latosol. The acid phosphatase activity in the soil decreased with the P rates. The two foliar diagnosis recommendations presented similar results. Foliar acid phosphatase activity showed to be an efficient method for nutritional diagnosis of phosphorus in sugarcane. The application of P sources and doses and filter cake did not improve the technological quality of sugarcane.

**Keywords:** *Saccharum officinarum* L., acid phosphatase, soil microbiology, organic residue.

## 1 INTRODUÇÃO

A expansão dos canaviais para áreas de baixa fertilidade do solo, aliada à produção incessante por vários ciclos de cultivo na mesma área, isto torna-se um fator preocupante do ponto de vista nutricional da cultura, principalmente em relação ao P. Solos com elevado grau de intemperismo, com a fração argila composta por caulinita e oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio, a exemplo dos Argissolos e Latossolos, apresentam elevada adsorção do P. Dessa forma, grande parte do P mineral aplicado nestes solos, poderá tornar-se indisponível às plantas logo no primeiro ano da aplicação.

Além disso, a disponibilidade do P decresce durante os ciclos da cana-de-açúcar (EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004), fazendo deste nutriente um dos mais limitantes para a produção e a longevidade das soqueiras (CAIONE et al., 2011b). Dessa forma, o efeito residual do P passa a ser um fator importante nas recomendações de adubação fosfatada para o cultivo da cana-de-açúcar.

Para aumentar a eficiência da adubação fosfatada na cultura da cana-de-açúcar, é importante conhecer a interação fontes e doses de P e a contribuição da associação com composto orgânico.

É conhecido que as fontes solúveis, como o superfosfato triplo, embora favoreçam a rápida adsorção do P nos oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio, apresentam maior eficiência a curto prazo, no primeiro ano após a aplicação. Os fosfatos naturais, a exemplo do Bayóvar ou do fosfato de Araxá, são de menor solubilidade e possuem efeito residual a longo prazo (KORNDORFER; LARA-CABEZAS; HOROWITZ, 1999; CAIONE, 2013). No entanto, o uso da fonte de fósforo acidulada ou natural, em doses equivalentes de P solúvel, pode apresentar eficiências agronômicas semelhantes nas primeiras safras da cana-de-açúcar.

Existem estudos indicando que o uso da adubação fosfatada mineral, associada à orgânica, na forma de torta de filtro, favorece a produção das soqueiras de cana-de-açúcar (DIAZ et al., 2010; MODA, 2015). Este efeito benéfico pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade de P do solo dada a diminuição da adsorção de P (LIMA, 2011), associado ao aumento da atividade microbológica do

solo, o que favorece a mineralização do P orgânico do solo. Este efeito foi observado em estudos com cana-de-açúcar (CASTILLO et al., 2015; HERNÁNDEZ et al., 2015) cultivada em vasos, e ainda pode aumentar a produção de substâncias orgânicas promotoras do crescimento de plantas (BUSATO et al., 2010). No entanto, existem dúvidas se o uso de fósforo mineral, associado com resíduos orgânicos, pode potencializar a eficiência agrônômica do fertilizante fosfatado a curto prazo, na primeira soqueira.

Espera-se que esse efeito da adubação organomineral na microbiota do solo possa ser mais evidenciado em fontes não aciduladas, como fosfatos naturais e sistemas de cultivo de cana-de-açúcar conservacionista sem despalha a fogo, dada a deposição de palhada no solo favorecer a diminuição da amplitude da temperatura e o aumento da retenção de água no solo.

Diante disso, é importante avaliar os efeitos residuais da adubação fosfatada da cana-de-açúcar com fontes de P associadas à torta de filtro, em solos com diferentes capacidades de adsorção de P.

Frente ao exposto, surgem as hipóteses de que: (a) as doses de fósforo aplicadas no plantio da cana-de-açúcar cultivada em Argissolo ou Latossolo têm efeito residual na primeira soqueira, favorecendo a absorção, o estado nutricional e o perfilhamento das plantas e a produtividade; (b) a adição da torta de filtro na cana-planta favorece a microbiota do solo e a produção da soqueira; (c) e o emprego de fontes naturais de fósforo em relação às fontes aciduladas na cana-planta, independentemente da dose de P, pode aumentar a atividade microbológica do solo a curto prazo e alterar a disponibilidade do nutriente no solo.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Objetivou-se avaliar a resposta da primeira soqueira da cana-de-açúcar cultivada em sistema sem despalha a fogo, em função do efeito residual da aplicação de doses e fontes de fósforo, na presença e na ausência da torta de filtro, em Latossolo e Argissolo.

## **3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar o efeito residual da adubação fosfatada e da torta de filtro na atividade enzimática da fosfatase ácida e da desidrogenase, na atividade respiratória e no carbono da biomassa microbiana do solo.

Avaliar a diagnose nutricional clássica e a alternativa por meio da medida da atividade da fosfatase ácida foliar.

Avaliar o efeito residual da adubação fosfatada e da torta de filtro no crescimento, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.



## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Importância da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta semiperene da família das poáceas. O Brasil tem papel importante no mercado global de açúcar e etanol (REZENDE; RICHARDSON, 2015), com produção bastante tecnológica, visando competir a preços de mercado com a gasolina.

A alta demanda por combustíveis alternativos, devido à tendência de crescimento do preço mundial do petróleo, além da necessidade de um combustível que emita menos poluentes, por questões ambientais, são fatos que impulsionam o setor sucroalcooleiro.

A produtividade obtida na safra de 2014/2015 foi menor em relação à safra anterior, em 3,1% na média geral, passando de 74,77 t ha<sup>-1</sup> para 72,44 t ha<sup>-1</sup> (CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014). A produção de cana-de-açúcar na safra de 2015/2016 foi estimada em 658,7 milhões de toneladas, com crescimento de 3,8% em relação à safra anterior, e a área plantada foi prevista em 8.995,5 mil hectares. No cenário nacional, o Estado de São Paulo é o maior produtor, com cerca de 52% da área cultivada (CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015).

Ressalta-se que, atualmente, houve mudança no sistema de produção, devido à eliminação das queimadas. Assim, a presença da palha modificou o manejo da cultura, sobretudo o nutricional.

O manejo correto da adubação em sistema conservacionista é fundamental para o cultivo de canaviais com maiores produtividade e longevidade, principalmente no que tange à adubação fosfatada, devido ao P apresentar alta interação com os solos tropicais, onde predomina o cultivo dessa espécie.

## 4.2 Importância da nutrição fosfatada na cana-de-açúcar

O P é absorvido da solução do solo, principalmente nas formas de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ , com predomínio da primeira. Este nutriente participa de processos metabólicos importantes nos vegetais, como: transferência de energia, respiração e fotossíntese. É constituinte de ácidos nucleicos, coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos (MALAVOLTA, 2006).

Na cana-de-açúcar, o P é fundamental para a divisão celular, atividade fotossintética, síntese e armazenamento de açúcares, crescimento radicular e aumento no número de perfilhos (DEVI et al., 2012), refletindo no aumento da produtividade de colmos da cana-planta (VASCONCELOS et al., 2014; CAIONE et al., 2015) e das soqueiras (EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004; DIAZ et al., 2010).

A nutrição adequada de P promove melhoria na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, por meio do aumento nos teores de sólidos solúveis, de açúcares redutores totais e de sacarose nos colmos, refletindo no aumento da produtividade de açúcar (SANTOS et al., 2011).

Além disso, o P é de grande importância para obter boa qualidade da matéria-prima destinada às indústrias sucroalcooleiras, pois baixos teores deste nutriente no caldo da cana dificultam a floculação, podendo comprometer a decantação das impurezas, tornando-o turvo, o que diminui a qualidade do açúcar (SANTOS et al., 2010). No processo de clarificação do caldo, o P reage com o hidróxido de cálcio, formando fosfato tricálcico, que, ao flocular, auxilia na decantação das impurezas (KORNDÖRFER, 2004).

Na planta, este nutriente possui alta mobilidade no floema, ou seja, alta redistribuição, havendo sintomas de deficiência de P inicialmente nas folhas velhas. Especificamente para a cultura da cana-de-açúcar, os sintomas de deficiência são caracterizados pela coloração verde-azulada ou arroxeadada das lâminas foliares, folhas mais finas, estreitas e curtas, colmos menores, finos, e com perfilhamento reduzido (PRADO, 2008).

A avaliação da atividade enzimática pode ser um método bioquímico alternativo para diagnosticar deficiência ou excesso de um determinado nutriente (CAZETTA; FONSECA; PRADO, 2010). Como o P atua em diversos processos

bioquímicos da planta, sua deficiência ocasiona alterações no metabolismo vegetal, como na atividade enzimática, a exemplo das fosfatases, que têm aumento de sua atividade na deficiência de P (CAIONE et al., 2015).

Há trabalhos que evidenciaram a possibilidade de diagnosticar o estado nutricional das plantas pela atividade enzimática, como para o fósforo, determinando a atividade da fosfatase ácida (ROSSI; MONTEIRO, 1999).

Na cultura da cana-de-açúcar, em avaliação dos efeitos de doses de P em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, na atividade enzimática da fosfatase ácida foliar, Caione et al. (2015) observaram que, nas menores doses e, conseqüentemente, nas menores concentrações de P foliar, houve maior atividade da fosfatase ácida foliar. A atividade da fosfatase ácida foliar apresenta correlação negativa com o acúmulo de P nas plantas de cana-de-açúcar (CAIONE, 2013).

A forma mais empregada de avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar é a diagnose foliar a partir da análise do teor total do nutriente no tecido vegetal. Esta avaliação é baseada na determinação dos teores de nutrientes em órgãos específicos, a exemplo das folhas, e a comparação com um valor de referência considerado representativo de condições normais e de boa produtividade (CAMPOS et al., 2014).

Para tanto, deve-se, obrigatoriamente, seguir um padrão de coleta e interpretação. Para a cultura da cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo, existem duas indicações de coleta e de interpretação. De acordo com Malavolta (1992), a coleta foliar deve ser aos quatro meses após a brotação, e Raij e Cantarella (1997) recomendam a coleta foliar durante a fase de maior desenvolvimento vegetativo da cultura. Neste sentido, surge a necessidade de estudos evidenciando qual época melhor expressa o estado nutricional das plantas de cana-de-açúcar.

Embora o P seja de grande importância para a cultura da cana-de-açúcar, sua exigência é baixa, sendo evidenciada pela quantidade de P absorvida e acumulada. Caione et al. (2015), avaliando o efeito da adubação fosfatada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, cultivado com cana-de-açúcar da variedade CTC 15, verificaram acúmulo de 40 kg de P para produção de colmos de aproximadamente 230 t ha<sup>-1</sup>.

Vasconcelos et al. (2014) verificaram o acúmulo de 13,3 kg de P para produção de colmos de aproximadamente 122 t ha<sup>-1</sup>, em plantas de cana-de-açúcar variedade RB867515, em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. Ressalta-se que o acúmulo de P é variável com a variedade da cana-de-açúcar, com a produtividade, o tipo de solo e com a adubação.

### **4.3 Adubação fosfatada na cana-de-açúcar**

Após a aplicação do fertilizante fosfatado no solo, ocorre sua dissolução, e grande parte do P fica retido na fase sólida, na forma não lábil, sendo o P que se encontra na solução do solo ou fracamente adsorvido, considerado lábil (disponível para as plantas). Assim, apenas uma parte do P é absorvida pelas plantas, e a recuperação desse elemento dependerá da espécie vegetal e de características do solo como: textura, tipo de minerais de argila e acidez (KORNDORFER; MELO, 2009; CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013).

A adubação fosfatada promove aumento no número de internódios, na densidade das plantas e na produção de colmos da cultura da cana-de-açúcar, sendo este nutriente fundamental para boa produtividade de colmos das soqueiras (EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004). Diversos autores relatam os benefícios da aplicação de P na produtividade da cana-de-açúcar, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Alguns fertilizantes fosfatados apresentam efeito residual, de maneira que apenas uma fração desse nutriente é disponibilizada às plantas em uma única safra. No entanto, sua aplicação em doses elevadas pode ser inviável economicamente e ocasionar desequilíbrios nutricionais (BOKHTIAR; PAUL; ALAM, 2008).

As fontes solúveis, como o superfosfato triplo, apresentam alta interação com o solo, sendo o P rapidamente adsorvido nos oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio, sendo que esta fonte tem maior eficiência no primeiro ano após a aplicação (CAIONE, 2013). As fontes de P de baixa solubilidade em água e solúveis em ácidos fracos (ácido cítrico e citrato neutro de amônio) apresentam lenta liberação do P, diminuindo a fixação deste elemento no solo, o que resulta em maior efeito residual (CAIONE et al., 2011a).

**Tabela 1.** Aumento na produtividade da cana-de-açúcar em função de doses e fontes de fertilizantes fosfatados, de acordo com informações de diferentes autores.

Fonte	Dose de P (kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Aumento na produtividade (%) <sup>+</sup>		Significância	Referência
		Cana-planta	Cana-soca		
Superfosfato triplo	120	28	-	**	Santos et al. (2009)
Fosfato solúvel	128,8	77	-	**	Santos et al. (2010)
Farinha de Ossos	100	46	-	*	Caione et al. (2011a)
Torta de filtro	79 <sup>++</sup>	17	-	**	Caione (2013)
Fosfato de Arad	100	27	19	**	Caione, Fernandes e Lange (2013)
Fosfato de rocha	150	64	-	*	Tsado et al. (2013)
Fosfato Bayóvar	360	24	-	**	Vasconcelos et al. (2014)
Torta de filtro	17,3 <sup>++</sup>	30	11	*	Moda (2015)

<sup>+</sup>% de aumento da produtividade em relação ao tratamento sem aplicação de P.

<sup>++</sup> Valor correspondente à dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com base no teor de P da composição da torta de filtro aplicada. - = Não avaliado. \*\* e \*: significativo (P<0,01) e (P<0,05), respectivamente, pelo teste F

Há trabalhos evidenciando maior eficiência da adubação fosfatada com a aplicação de fontes aciduladas de alta solubilidade em relação aos fosfatos naturais (KORNDORFER; MELO, 2009; SANTOS et al., 2009).

Neste sentido, Korndorfer e Melo (2009) avaliaram os efeitos da aplicação de fontes de P (superfosfato triplo, superfosfato simples, ácido fosfórico e uma mistura de ácido fosfórico + fosfato natural), na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e um controle (sem P), na produtividade da cana-de-açúcar, durante a cana-planta e as soqueiras. Estes autores concluíram que, após o terceiro corte, as fontes solúveis de P (superfosfato simples e triplo) apresentaram maior índice de eficiência agrônômica em relação às outras fontes de P testadas.

Por outro lado, diversos trabalhos comprovaram que adubação com fosfatos naturais, na cultura da cana-de-açúcar, apresenta eficiência igual ou, em alguns casos, superior às de fontes de P solúveis. Neste sentido, Caione et al. (2015),

avaliando os efeitos de fontes de P (fosfato natural de Araxá, Bayóvar e superfosfato triplo) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, na produtividade da cana-de-açúcar, não verificaram diferenças entre as fontes testadas.

Em estudo avaliando fontes de P (fosfato natural de Araxá, Gafsa e superfosfato triplo) e doses de P (0; 90; 180 e 360 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Moda (2015) verificaram maior produtividade de colmos de cana-de-açúcar com aplicação de 209 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com o fosfato de Gafsa. Do mesmo modo, Caione et al. (2011a), avaliando os efeitos de fontes de P (farinha de ossos, fosfato natural de Arad e superfosfato triplo) e tratamento-controle (sem aplicação de P), em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico com baixo teor de P (0,2 mg dm<sup>-3</sup>). Os autores verificaram que a adubação fosfatada promoveu maior altura, número de plantas e produtividade da cana-de-açúcar, não havendo diferenças entre as fontes testadas.

Avaliando os efeitos da aplicação de fontes de P (superfosfato triplo, fosfato de Arad, farinha de ossos) na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e um controle (sem P), nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade da cana-de-açúcar durante a cana-planta e soqueiras, Caione, Fernandes e Lange (2013) observaram que, com a aplicação de farinha de ossos e fosfato de Arad, houve aumento do teor de P disponível no solo, maior acúmulo e exportação de P pela cultura em relação à fonte de maior solubilidade (superfosfato triplo).

Contudo, a aplicação de fosfatos naturais não foi devidamente testada, em relação à sua aplicação incorporada em linha para soqueiras de cana-de-açúcar. Apesar disso, a perspectiva é de baixa eficiência inicial, uma vez que sua recomendação é para aplicação a lanço e em solos com valor de pH (CaCl<sub>2</sub>) menor ou igual a 5,2 (REIN et al., 2015).

Uma alternativa para aumentar a disponibilidade de P, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, é adicionar resíduos orgânicos (torta de filtro) aos fertilizantes fosfatados, podendo, assim, aumentar a eficiência da adubação fosfatada, com a consequente redução das doses dos fertilizantes químicos (SANTOS et al., 2010). Este efeito benéfico pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade de P do solo devido à diminuição da adsorção de P (LIMA, 2011). Além disso, com os

ácidos orgânicos provenientes da decomposição da matéria orgânica, há solubilização dos fosfatos naturais (CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013).

#### **4.4 Torta de filtro e adubação fosfatada**

A indústria sucroalcooleira produz grande quantidade de resíduos orgânicos que têm sido empregados na agricultura. Dentre estes resíduos, destaca-se a torta de filtro, devido seu alto potencial de uso agrícola, podendo ser utilizada como fonte de nutrientes, por sua alta concentração de nitrogênio, fósforo, cálcio e micronutrientes, além de elevada quantidade de matéria orgânica, contribuindo, assim, para a melhoria do ambiente de produção da cana-de-açúcar (PRADO; CAIONE; CAMPOS, 2013).

A torta de filtro é composta por resíduos, solúveis e insolúveis, derivados do precipitado (lodo) formado na etapa de clarificação do caldo de cana, cujo lodo é submetido a um processo de filtração a vácuo, obtendo assim a torta de filtro (FRAVET et al., 2010).

A composição química da torta de filtro é dependente de vários fatores, como: variedade, maturação da cana, tipo de solo, processo de clarificação do caldo, entre outros (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011). Na Tabela 2, podem ser observadas as variações na composição química da torta de filtro. Dentre os elementos encontrados neste resíduo, destaca-se o P, sendo comumente aplicado como fertilizante na agricultura.

A aplicação de resíduos orgânicos na agricultura é de extrema importância para redução de impactos ambientais. Associado a isso, tem-se a potencialidade de reduzir custos de produção com fertilizantes (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011). No caso da torta de filtro, cuja composição química apresenta altos teores de P (Tabela 2), e sabendo que as reservas minerais deste elemento são finitas e há uma demanda crescente por este nutriente na agricultura, torna este resíduo uma fonte importante de P para a cultura da cana-de-açúcar.

**Tabela 2:** Carbono (C), pH, macronutrientes e relação C/N da torta de filtro. Adaptado de Prado, Caione e Campos (2013).

Determinações	Torta de filtro				Média
	( <sup>1</sup> )	( <sup>2</sup> )	( <sup>3</sup> )	( <sup>4</sup> )	
C (%)	-	7,9	40	10,9	19,6
pH	8,2	-	7,1	-	7,7
N (%)	1,4	4,8	1,6	0,3	2,0
P (%)	1,2	1,8	1,3	0,1	1,1
K (%)	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3
Ca (%)	2,7	1,6	2,5	1,7	2,1
Mg (%)	1,1	0,4	-	0,2	0,6
S (%)	0,2	0,3	-	-	0,25
Relação C/N	12	-	25	36	24

Fonte: <sup>1</sup>= Prado, Caione e Campos (2013); <sup>2</sup>= Santana et al. (2012); <sup>3</sup>= Khwairakpam e Bhargava (2009); <sup>4</sup>= Camargo et al. (1984). - = Não determinado.

A aplicação da torta de filtro no sulco de plantio da cana-de-açúcar tem potencial para substituir parte da adubação química fosfatada, apresentando melhorias na qualidade e na produtividade de açúcar (SANTOS et al., 2011).

Neste sentido, Almeida Júnior et al. (2011), avaliando o efeito de doses de torta de filtro e de fertilizante mineral em plantas de cana-de-açúcar, relataram que o uso de torta de filtro, associada à adubação mineral, maximiza o efeito da adubação química, refletindo em aumentos na produtividade, além de reduzir custos com fertilizantes minerais.

Dessa forma, verificando os efeitos diretos e residuais da fertilização mineral e orgânica na produtividade, qualidade tecnológica e nutrição de plantas de cana-de-açúcar, Bokhtiar, Paul e Alam (2008) relataram que, com a adição de torta de filtro, a adubação mineral pode ser reduzida em 25% em cana-planta e que, para as próximas colheitas, a adição deste resíduo é importante para se obterem boas produtividades, sem deteriorar a fertilidade do solo.

Uma alternativa para promover aumento na eficiência da adubação fosfatada e na disponibilidade de P no solo é adicionar torta de filtro aos fertilizantes fosfatados. Neste sentido, avaliando a produtividade da cana-de-açúcar, em função da adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel, Santos et al. (2010) verificaram que a produtividade de colmos e o perfilhamento foram influenciados pela aplicação de torta de filtro.



A torta de filtro auxilia na redução da adsorção do P nos solos, conforme relatado por Lima (2011), em estudos sobre a disponibilidade de P para a cultura da cana-de-açúcar em solo tratado com torta de filtro. Este autor verificou que a aplicação do composto possibilitou a redução da fixação de P pelo solo, contribuindo para a elevação da absorção deste elemento pela cultura da cana-de-açúcar; a redução da fixação de P pelo solo foi atribuída às substâncias húmicas presentes nesse resíduo.

Avaliando os efeitos da aplicação de doses de P (0; 50; 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) com a fonte superfosfato triplo, associada com doses de torta de filtro (0; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 t ha<sup>-1</sup>) em ARGISSOLO VERMELHO Distroférrico, no rendimento de açúcar e na qualidade, Santos et al. (2011) verificaram que a aplicação de P melhora a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar, promovendo aumento nos teores de sólidos solúveis, de açúcares redutores totais e de sacarose nos colmos. Estes mesmos autores afirmam que há aumento na produtividade de açúcar e que a torta de filtro pode substituir parcialmente a adubação química fosfatada. A melhor combinação foi torta de filtro na dose entre 2,6 e 2,7 t ha<sup>-1</sup>, associada a 160 e 190 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em relação ao teor de sólidos solúveis e produtividade de açúcar.

Além disso, o benefício do uso da torta de filtro, associada com fontes de P de baixa solubilidade, a exemplo dos fosfatos naturais, tem sido relatado em várias pesquisas, em solos tropicais cultivados com cana-de-açúcar, podendo ser citado os trabalhos de Vasconcelos et al.(2014), Caione et al. (2015), Moda (2015) e González et al. (2016).

Em trabalho realizado em Cuba, Diaz et al. (2010) avaliaram o efeito da aplicação de compostos orgânicos e fertilizantes minerais insolúveis sobre a produtividade da cana-de-açúcar e na qualidade do solo. Os autores verificaram que as aplicações de 15 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro + 2 t ha<sup>-1</sup> de zeólita e 4 t ha<sup>-1</sup> de composto + 2 t ha<sup>-1</sup> de rocha calcária e fosfatada resultaram em maior efeito residual e, conseqüentemente, em maior rendimento agrícola das soqueiras.

A adição da torta de filtro, associada à adubação fosfatada, possibilita aumento no crescimento microbológico e na atividade enzimática do solo, associada à solubilização do P, disponibilizando-o mais rapidamente às plantas (YANG et al.,

2013), culminando em aumento da absorção do P e da produtividade da cana-de-açúcar (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011).

De acordo com Yang et al. (2013), o uso de fertilizantes orgânicos, como a torta de filtro, atua como um sustentador do crescimento microbológico e da atividade enzimática no solo, beneficiando e reduzindo a aplicação de fertilizantes químicos, com efeitos benéficos na produtividade das soqueiras da cana-de-açúcar.

Diante do exposto, notam-se os benefícios da associação da adubação fosfatada com a torta de filtro para a cultura da cana-de-açúcar, destacando-se os efeitos nas propriedades químicas e microbiológicas do solo.

#### **4.5 Efeitos da torta de filtro e da adubação fosfatada na microbiologia do solo**

O manejo do solo influencia diretamente a microbiologia do mesmo, sobretudo de microrganismos ligados aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes (BALOTA et al., 2004). Neste sentido, a adubação com resíduo orgânico aumenta os hidratos de carbono, sendo estes substratos prontamente disponíveis aos microrganismos e enzimas do solo.

Os benefícios da aplicação da torta de filtro, associada com à adubação fosfatada na microbiologia do solo, têm sido relatados por diversos autores (MODA et al., 2014; CASTILLO et al., 2015; HERNÁNDEZ et al., 2015). Este efeito pode ser atribuído ao aumento na população de microrganismos produtores de ácidos orgânicos e de enzimas responsáveis pela solubilização do P adsorvido nos solos (YANG et al., 2013; CAMPOS et al., 2016).

Avaliando os efeitos da aplicação de vinhaça e torta de filtro em cana-de-açúcar, Yang et al. (2013), verificaram que o uso da torta de filtro promoveu aumento do número de bactérias e de fungos, e conseqüentemente aumento na mineralização da matéria orgânica e da atividade de enzimas facilitadoras do processo de solubilização de fósforo, disponibilizando P solúvel para as plantas.

Com a aplicação da torta de filtro, elevaram-se os teores de P orgânico do solo, ocorrendo aumento da atividade da fosfatase (CASTILLO et al., 2015). Isto ocorre devido à atuação desta enzima sobre a hidrólise de substratos fosforilados

para fornecer P inorgânico (DICK; SANTOS; MEYER-FERNANDES, 2011), podendo ser absorvido pelas plantas ou imobilizado pela microbiota do solo.

A avaliação das propriedades microbiológicas do solo fornece informações de como a aplicação de resíduos orgânicos altera sua microbiota, refletindo nos processos de mineralização e ciclagem de nutrientes (BALOTA et al., 2004). Dentre os parâmetros avaliados destacam-se a atividade de algumas enzimas, a exemplo das fosfatases, podendo assim, ser usada como indicador da atividade bioquímica e biológica do solo.

Além da atividade enzimática da fosfatase, destacam-se como importantes indicativos da qualidade microbiológica dos solos: a atividade da enzima desidrogenase (MELERO et al., 2009), a atividade respiratória (NEOGI et al., 2014) e o carbono da biomassa microbiana (BABUJIA et al., 2010).

Neste sentido, Castillo et al. (2015) avaliaram os efeitos de doses de P (superfosfato triplo) na presença e na ausência de torta de filtro, na atividade microbiana e enzimática do solo cultivado com cana-de-açúcar. Os autores relataram que a aplicação de P, associada com a torta de filtro, promoveu maior atividade respiratória e carbono solúvel no solo e maior atividade da desidrogenase e da fosfatase ácida.

Em estudos com fontes de P acidulada (superfosfato triplo) e fosfato natural (apatita), associados com torta de filtro sobre a microbiológica do solo, Campos et al. (2016) verificaram que a aplicação do fosfato natural proporcionou maior população de microrganismos no solo. O efeito da associação da adição de composto orgânico no incremento de microrganismos no solo que foi adubado com fosfatos naturais deve-se aos microrganismos produtores de ácidos orgânicos e de enzimas responsáveis pela solubilização do P destas fontes.

Em estudo realizado em casa de vegetação com plantas de cana-de-açúcar, por 120 dias, em Latossolo, Hernández et al. (2015) avaliaram os efeitos de fontes de fósforo (superfosfato triplo, fosfato natural de Araxá e Bayóvar) na ausência e na presença de torta de filtro (enriquecida ou não com biofertilizante) na população de microrganismos, nutrição e produção de massa de matéria seca de plantas de cana-de-açúcar. Os autores não verificaram diferenças entre as fontes de P para população de microrganismos solubilizadores de P, bactérias e fungos totais, mas

observaram que a aplicação de superfosfato triplo, associado com torta de filtro enriquecida com biofertilizante, promoveu maior acúmulo de P e produção de massa de matéria seca das plantas.

A microbiologia do solo pode ser alterada pela adição de fertilizantes inorgânicos fosfatados em diferentes maneiras. O P é essencial para os seres vivos, fazendo parte de proteínas, ácidos nucleicos, membranas e moléculas energéticas como o ATP (adenosina trifosfato) e GTP (guanosina trifosfato) (AZZIZ et al., 2012). A microbiota do solo é essencial para o ciclo do P no solo, realizando transformações desse elemento para formas disponíveis, sendo este nutriente, então, disponibilizado para as plantas ou assimilado pelos microrganismos (BUSATO; CANELLAS; VELLOSO, 2005).

No entanto, as fontes inorgânicas de P, a exemplo de rochas fosfatadas e de fontes aciduladas (superfosfato triplo), têm em sua composição metais pesados e elementos radioativos (MOURAD et al., 2009; GUPTA et al., 2014) que podem ser nocivos aos microrganismos do solo. Associado a isso, outros fatores influenciam no desenvolvimento dos microrganismos do solo, como: textura do solo, tipo de argila, temperatura, pH e disponibilidade de substrato orgânico (HERNÁNDEZ et al., 2015).

Neste sentido, existem estudos avaliando fontes de P e torta de filtro na microbiologia do solo e em cultivos de cana-de-açúcar. No entanto, a maioria é em ambientes sob condições controladas, que poderão ser não compatíveis com a realidade dos campos de produção. Desse modo, são necessários estudos envolvendo estes fatores em cultivo com a cultura da cana-de-açúcar no campo onde a presença da palhada na superfície do solo altera sua temperatura e umidade sobretudo em solos de maior cultivo desta cultura.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

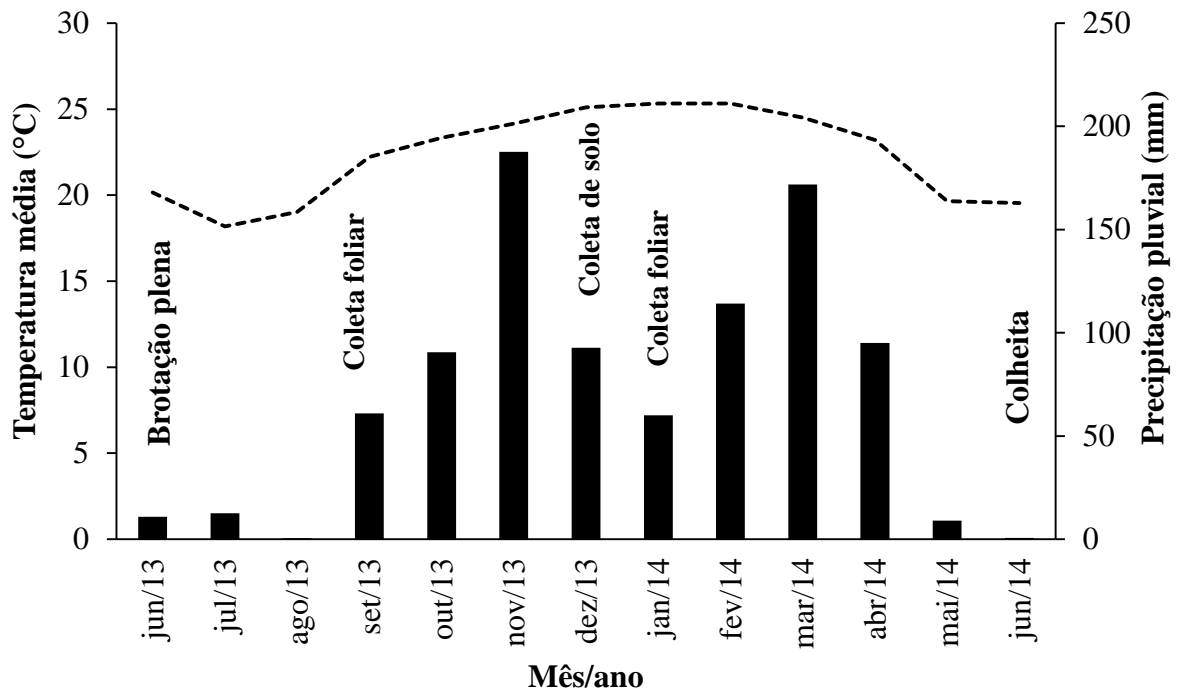
### 5.1 Características do local, histórico da área e da cultura

Antes da instalação dos experimentos, realizou-se a implantação da cultura da cana-de-açúcar, cujas informações referentes ao manejo e tratamentos culturais, assim como os resultados das avaliações da cana-planta, referentes ao ano agrícola de 2012/2013, estão descritos em Caione (2013). Em seguida, nas mesmas áreas, realizou-se o cultivo da primeira soqueira a partir da instalação de dois experimentos.

O presente estudo foi, portanto, realizado com a primeira soqueira da cana-de-açúcar (ano agrícola de 2013/2014) em dois locais do Estado de São Paulo, na área experimental da Usina Catanduva S/A. O clima da região é tropical chuvoso e seco no inverno (Aw), pelo critério de classificação climática de Köppen. Foram registrados os dados pluviométricos em posto meteorológico localizado a 25 km dos experimentos. Houve baixa precipitação nos meses em que se iniciou a brotação; no entanto, em seguida, houve boa distribuição pluviométrica, não prejudicando o desenvolvimento e a produção da cultura. Durante o ciclo da primeira soqueira da cana-de-açúcar, foram acumulados 906 mm de chuva (Figura 1).

O experimento I foi realizado no município de Catanduva-SP, com as coordenadas geográficas 21°05'07"S e 48°54'22"O, à altitude de 550 metros (Apêndice - Figura 1), em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico (SANTOS et al., 2013).

Nessa área, realizou-se a amostragem do solo em abril de 2012, antes do plantio (cana-planta). Em seguida, realizou-se análise química do solo para fins de fertilidade, de acordo com os métodos propostos por Raij et al. (2001) (Tabela 3). Observa-se que o teor de P do solo é classificado como muito baixo, e os teores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  são altos em relação aos critérios de interpretação de Raij et al. (1997).



**Figura 1.** Temperatura média mensal e precipitação pluvial mensal acumulada durante o período de condução dos experimentos. Fonte: Dados da rede do INMET.

**Tabela 3.** Atributos químicos do ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, camada de 0-0,2 m, Catanduva-SP.

pH CaCl <sub>2</sub>	MO g dm <sup>-3</sup>	P-resina mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	SB*	CTC*	V*
			----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
5,5	12	5	3,1	30	13	18	46,1	64	72
----- Interpretação** -----									
Acidez média	-	Muito baixo	Alto	Alto	Alto	-	-	-	Alta

\*SB (soma das bases) (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>); CTC (Capacidade de troca de cátions) (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + H+Al); V (saturação por bases) ((Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>) / CTC); \*\* Raij et al. (1997).

Nas mesmas amostras de solo, avaliaram-se também os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>, de acordo com os métodos propostos por Camargo et al. (2009), e a granulometria (Tabela 4).

**Tabela 4.** Teores de óxidos de Fe, Al e Si e análise textural do ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, camada de 0-0,2 m, Catanduva-SP.

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa
----- % -----			----- g kg <sup>-1</sup> -----			
4,7	8,0	11,2	200	103	507	190

O experimento II foi realizado no município de Santa Adélia-SP, com as coordenadas geográficas 21°20'S e 43°53'O, à altitude de 600 metros, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SANTOS et al., 2013). Antes do plantio da cana-de-açúcar, em abril de 2012, realizou-se a amostragem do solo. Em seguida, realizou-se análise química do solo para fins de fertilidade, de acordo com os métodos propostos por Raij et al. (2001) (Tabela 5). Observa-se que o teor de P do solo é classificado como muito baixo, e os teores de K<sup>+</sup> como baixo e Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, como altos, em relação às classes de interpretação de Raij et al. (1997).

**Tabela 5.** Atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, camada de 0-0,2 m, Santa Adélia-SP.

pH CaCl <sub>2</sub>	M.O g dm <sup>-3</sup>	P-resina mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	SB*	CTC*	V*
			----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						
6,0	7	5	1,4	11	6	11	18,4	29	63
----- Interpretação** -----									
Acidez baixa	---	Muito baixo	Baixo	Alto	Médio	---	---	---	Média

\*SB (soma das bases) (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>); CTC (Capacidade de troca de cátions) (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + H+Al); V (saturação por bases) ((Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>) / CTC); \*\* Raij et al. (1997).

Nestas amostras de solo, avaliaram-se também os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>, de acordo com os métodos propostos por Camargo et al. (2009), e a granulometria (Tabela 6).

**Tabela 6.** Teores de óxidos de Fe, Al e Si e análise textural do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, camada de 0-0,2 m, Santa Adélia-SP.

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa
----- % -----			----- g kg <sup>-1</sup> -----			
4,5	11,0	13,2	136	75	416	373

Os experimentos foram instalados em áreas que já praticavam o sistema de colheita sem despalha a fogo, com um ano de cultivo. A variedade plantada foi a

CTC 15, tendo como características alto potencial produtivo, rusticidade, tolerância à seca e adaptação a diferentes ambientes de produção (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA, 2012).

## 5.2 Tratamentos e delineamento experimental

Antes do plantio, em março de 2012, realizou-se o preparo do solo, com aração, gradagem e sulcação (aproximadamente 0,30 m de profundidade), conforme relatado por Caione (2013). Os tratamentos foram aplicados na cana-planta (safra de 2012-2013); para tanto, os fertilizantes correspondentes a cada tratamento foram misturados com betoneira e, em seguida, aplicados no sulco de plantio. Ressalta-se que, no momento da aplicação, o sulco de plantio estava com aproximadamente 0,20 m de profundidade.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições, em esquema fatorial 3x4x2, correspondendo a três fontes de fósforo: 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  $P_2O_5$  (0; 90; 180 e 360 kg ha<sup>-1</sup> solúvel em ácido cítrico a 2%); na ausência e na presença de torta compostada (7,5 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, em base seca, equivalente a 15 t ha<sup>-1</sup> “base úmida”, 50% de umidade), totalizando 72 parcelas experimentais.

As unidades experimentais foram constituídas de cinco linhas, com 15 m de comprimento, distanciadas 1,5 m entre si. Para as avaliações, foram consideradas como área útil as três linhas centrais, desconsiderando-se 2 m em cada extremidade.

As doses de P foram estabelecidas com base na recomendação de Raij e Cantarella (1997), para produtividade de colmos de 100-150 t ha<sup>-1</sup>, ou seja, de 180 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ , e a partir desta estabeleceram-se a metade e o dobro da dose recomendada. Em relação à torta de filtro, Raij e Cantarella (1997) recomendam a aplicação de 15 a 30 t ha<sup>-1</sup> de torta úmida no sulco de plantio.



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).

Foi realizada a análise química da torta de filtro, de acordo com Bataglia et al. (1983), apresentando os seguintes valores, expressos na matéria seca a 60-65 °C: P= 9,2 g kg<sup>-1</sup>; K= 3,4 kg<sup>-1</sup>; Ca= 25,3 g kg<sup>-1</sup>; Mg= 9,0 g kg<sup>-1</sup>; S= 3,3 g kg<sup>-1</sup>; B= 16 mg kg<sup>-1</sup>; Cu= 43 mg kg<sup>-1</sup>; Fe= 9.374 mg kg<sup>-1</sup>; Mn= 735 mg kg<sup>-1</sup> e Zn= 70 mg kg<sup>-1</sup>. Determinaram-se o valor de pH (CaCl<sub>2</sub>)= 8,2; o carbono orgânico total (COT)= 26,9%; N= 2,2%, e calculou-se a relação C/N= 12 e C/P= 29. Com base no teor de P presente na torta de filtro e a quantidade aplicada desse composto, foram fornecidos 79 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> via torta de filtro (considerando 50% de P mineralizado).

### **5.3 Adubação de cobertura e controle de plantas daninhas**

Aos 40 dias após a rebrota do primeiro corte, foi realizada a adubação mineral de cobertura, almejando a produtividade de colmos de 100 t ha<sup>-1</sup>. Para tanto, aplicaram-se ao lado da linha de cana, o nitrogênio na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de sulfato de amônio, e o potássio na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio, conforme a recomendação de Raij e Cantarella (1997).

O controle químico de plantas daninhas foi efetuado com aplicações de 1,2 L ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo tebutiuram; 3,0 L ha<sup>-1</sup> de ametrina e 1,0 L ha<sup>-1</sup> de sodium hydrogen methylarsonate (MSMA), com volume de calda de pulverização de 200 L ha<sup>-1</sup>.

### **5.4 Avaliações**

#### **5.4.1 Crescimento e/ou desenvolvimento**

Aos seis meses após a brotação da soqueira, foram avaliados: o número de perfilhos em dois metros de cada linha da área útil por parcela; a altura do colmo, medido do nível do solo até à base da folha +1 (folha mais alta com a bainha visível “TVD: Top Visible Dewlap”), com auxílio de uma fita métrica (Apêndice - Figura 2a);

e o diâmetro do colmo, medido a 5 cm do solo, com auxílio de um paquímetro digital (STARRETT® 727-2001) (Apêndice - Figura 2b). Para as medidas de altura e de diâmetro do colmo, foram utilizadas cinco plantas contíguas de cada linha de plantio da área útil da parcela.

#### **5.4.2 Avaliação química do solo**

Foram realizadas amostragens de solo, aos seis meses após a brotação, ao lado da linha de plantas, na faixa de adubação, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade, em 15 pontos aleatórios, na área útil da parcela (Apêndice - Figura 3). Foram determinados nas amostras de solo: o teor de P disponível (em resina), o valor de pH e o teor de matéria orgânica, conforme métodos descritos por Raij et al. (2001).

#### **5.4.3 Determinação de atributos microbiológicos e da atividade enzimática no solo**

Para a realização destas análises, foi realizada amostragem de solo, aos seis meses após a brotação das plantas de cana-de-açúcar, ao lado da linha de plantas, na faixa de adubação, na camada de 0-0,2 m de profundidade, em 15 pontos aleatórios, na área útil da parcela. Em seguida, as amostras foram levadas para o laboratório, o solo foi seco ao ar e peneirado em malha de 2,0 mm, retirando-se raízes e resíduos vegetais. Posteriormente, foram realizadas na terra fina seca ao ar (TFSA) as seguintes análises:

#### **Atividade Respiratória Microbiana (ARM)**

A atividade respiratória microbiana foi determinada em 100 g de solo seco, de acordo com Rezende, Assis e Nahas (2004). Para esta avaliação, foram realizadas algumas adaptações, sendo que a umidade do solo foi ajustada para 70% de sua capacidade de retenção de água.

Logo após esta etapa, o solo foi inserido em recipiente de vidro com capacidade para 2,5 L; e, neste mesmo recipiente, foram colocados em seu interior 2 béqueres de 50 mL, um contendo 20 mL de água deionizada e outro com 20 mL de solução de hidróxido de sódio a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . Em seguida, os recipientes foram vedados com filme plástico PVC, tampados, levados para incubação em sala com ausência de luz e temperatura ambiente, por 7 dias. Ao término do período de incubação, foi retirado o béquer com hidróxido de sódio, e adicionaram-se 2 mL de solução de cloreto de bário a 30%, três gotas de solução de fenolftaleína a 1%, e foi realizada a titulação com solução de ácido clorídrico a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , até a viragem da cor rosa para o branco leitoso.

### **Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM)**

A determinação do carbono da biomassa microbiana foi realizada, adaptando-se o método de irradiação proposto por Islam e Weil (1998) e Ferreira, Camargo e Vidor (1999), que se utiliza das micro-ondas de energia eletromagnética para promover o rompimento celular e liberar os compostos celulares. Posteriormente, realizaram-se a extração e a quantificação do carbono destes compostos.

Inicialmente, foram pesados 10 g de solo seco, os quais foram transferidos para erlenmeyers com capacidade para 250 mL. Para cada amostra, foram realizadas duas pesagens, ou seja, duas amostras por parcela (teste e controle). Em seguida, a capacidade de retenção de água no solo foi ajustada para 100%.

As amostras-teste foram submetidas à irradiação, por meio de micro-ondas. O tempo de exposição à irradiação foi calculado de acordo com o método proposto pelos autores supracitados.

Após receber a irradiação, foram adicionados 40 mL de solução de sulfato de potássio a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  nas amostras-teste e controle, e levadas para agitação, com auxílio de um agitador horizontal a 175 rpm, por 30 minutos. Ao término da agitação, o extrato foi filtrado em papel-filtro Whatman 42 e, assim, pipetaram-se 10 mL de cada extrato filtrado para erlenmayer de 125 mL, adicionaram-se ainda 2,0 mL de solução de dicromato de potássio a  $0,066 \text{ mol L}^{-1}$  e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após 30 minutos, adicionaram-se 50 mL de água destilada,

aguardaram-se 15 minutos, com objetivo de esperar estabilizar a temperatura da solução, acrescentaram-se 4 gotas do indicador ferroin e realizou-se a titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal a  $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ .

### **Atividade Enzimática da Desidrogenase (AD)**

A atividade da desidrogenase foi determinada de acordo com Casida, Klein e Santoro (1964). Para tanto, foram pesados 3 g de solo seco ao ar, peneirado e transferido para tubos de ensaio com 18 x 180 mm, adicionado 0,03 g de carbonato de cálcio, 0,5 mL de cloreto de 2,3,5- trifeniltetrazólio (TTC) e 1,3 mL de água destilada. Em seguida, foi realizada a homogeneização, utilizando aparelho de agitação.

Após o procedimento de homogeneização, os tubos foram vedados com filme plástico PVC e levados para o “banho-maria” a  $37^\circ \text{C}$ , por 24 horas. Após esta etapa de incubação, foram adicionados aos tubos de ensaio 10 mL de metanol, agitados com auxílio do aparelho de agitação por 30 segundos e filtrados em papel-filtro Whatman 42. Em seguida, os extratos obtidos foram transferidos para erlenmeyers de 125 mL. Foi realizada a leitura da intensidade da cor vermelha nos extratos, utilizando o espectrofotômetro com absorvância de 485 nm. As concentrações de trifenilformazan (TPF), formado pela redução do TTC a TPF, foram calculadas mediante a obtenção de curva-padrão com 0; 5; 10; 20; 30; 40 e  $60 \mu\text{g mL}^{-1}$  de TPF.

### **Atividade enzimática da Fosfatase ácida no solo**

A atividade da fosfatase ácida no solo foi determinada de acordo com método proposto por Tabatabai e Bremner (1969), com modificações. Foi pesado 0,2 g de solo (TFSA), transferidos para tubos (18 x 180 mm), com adição de 4 mL do tampão (ácido acético a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  pH 5,4). Posteriormente, os tubos foram levados para incubação à temperatura de  $37^\circ \text{C}$  e, após três minutos, com a temperatura equilibrada do tampão, adicionou-se 1 mL da solução de p-nitrofenilfosfato de sódio a  $30 \text{ mol L}^{-1}$  nos tubos. Em seguida, foram novamente incubados por trinta minutos, à  $37^\circ \text{C}$ .

Após a etapa de incubação, acrescentou-se aos tubos 1 mL de solução de cloreto de cálcio a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo este responsável pela floculação do resíduo. Em seguida, acrescentaram-se 4 mL de solução de hidróxido de sódio a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , agitaram-se os tubos e realizou-se a filtração em papel-filtro número 12, folha simples. Após a filtração, foi determinada a quantidade de p-nitrofenol liberada, por espectrofotometria, em comprimento de onda de 405 nm. As concentrações de p-nitrofenol foram calculadas mediante a obtenção de curva-padrão com 0; 0,10; 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e  $1,00 \mu\text{g mL}^{-1}$  de p-nitrofenol.

Para cada parcela, foi feito um controle (branco), em que a solução de p-nitrofenilfosfato de sódio foi adicionada ao meio de incubação após ter sido adicionada a solução de hidróxido de sódio.

#### **5.4.4 Avaliação do estado nutricional**

Para avaliar o estado nutricional das plantas, foram realizadas amostragens foliares em duas épocas. Dessa forma, aos 4 meses após a brotação da cana-de-açúcar, foi realizada a coleta da folha +3 (terço médio das folhas, excluída a nervura central) de 15 plantas por parcela, conforme indicação de Malavolta (1992), e também aos 8 meses após a brotação da cultura, foi realizada a coleta da folha +1 (terço médio das folhas, excluída a nervura central) de 15 plantas por parcela, de acordo com Raij e Cantarella (1997) (Apêndice - Figura 4).

Em seguida, as amostras foliares foram lavadas em água corrente; solução detergente ( $1 \text{ ml L}^{-1}$ ), solução de ácido clorídrico ( $3 \text{ ml L}^{-1}$ ), água deionizada, de acordo com Prado (2008). As amostras foram deixadas em repouso para escorrer o excesso de água e levadas para estufa de circulação forçada de ar a  $63\text{-}65 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 72 h. Após esse processo, foi feita a moagem, em moinho tipo Willey, e determinados os teores de macronutrientes e dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos tecidos vegetais, seguindo os métodos descritos por Bataglia et al. (1983).

#### 5.4.5 Determinação da atividade da fosfatase ácida foliar

Para avaliação nutricional alternativa por teste bioquímico, foi realizada, aos 8 meses após o plantio, a amostragem foliar de 15 plantas por parcela, sendo coletada a folha+1 (terço médio das folhas, excluídas a nervura central e as extremidades). A coleta das folhas foi realizada no período entre 8 e 10 horas e imediatamente armazenadas em nitrogênio líquido (Apêndice - Figura 5).

Determinou-se a atividade da fosfatase ácida, conforme o método proposto por Pizauro et al. (1988), com adaptações, sendo estas descritas a seguir: as folhas foram descongeladas e homogeneizadas em aparelho tipo turrax, marca OMNI, modelo GLH-2511, em tampão acetato a 5 mmol L<sup>-1</sup>, pH 5,5, na proporção de 1 grama de tecido vegetal para 10 mL de tampão acetato. A amostra foi homogeneizada a força centrífuga relativa de 10.000 g, por 10 minutos, a 4°C. Logo após, o sobrenadante foi pipetado, congelado em nitrogênio líquido e armazenado a -80°C. Esses extratos foram utilizados para a determinação da atividade p-nitrofenilfosfatásica (PNFFásica) da fosfatase ácida e dosagem de proteína.

A atividade PNFFásica da fosfatase ácida foi determinada descontinuamente, a 37°C, por meio da formação do íon p-nitrofenolato ( $\epsilon = 17600 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ , pH 13), em 410 nm, a partir da hidrólise do p-nitrofenilfosfato a 1 mmol, em meio de reação contendo acetato a 100 mmol, pH 5,5 e PNFF 1 mmol, em volume final de 1 mL.

A reação enzimática foi iniciada pela adição do extrato enzimático ao meio de reação e cessado com adição de 1 mL de NaOH 1 mmol L<sup>-1</sup>. Em seguida, foi realizada a mistura por agitação e, posteriormente, a leitura em espectrofotômetro com absorvância de 410 nm. Todas as determinações foram realizadas em triplicatas, e as velocidades iniciais permaneceram constantes durante o tempo de incubação, assegurando-se hidrólise de substrato sempre inferior a 5%. Em cada determinação, foi incluído controle para estimar a hidrólise não enzimática do substrato.

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

realizou-se a dosagem de proteína do extrato, sendo determinada de acordo com Hartree (1972), utilizando a soroalbumina bovina como padrão proteico.

#### 5.4.6 Crescimento e produtividade de colmos e produção de palhada

Aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar, foi realizada a colheita das plantas e as seguintes avaliações:

**a) Altura de colmos (m):** foram realizadas medições em dez colmos contíguos da área útil da parcela, utilizando-se de trena, medindo-se da base do corte até ao início do ponteiro.

**b) Diâmetro de colmos (mm):** foram realizadas avaliações em dez colmos contíguos da área útil da parcela, sendo as medidas realizadas com uso de paquímetro digital (STARRETT® 727-2001), considerando-se como ponto de leitura a metade do primeiro entrenó do colmo.

**c) Número de colmos:** foi determinado contando o número de plantas contíguas em 1 m de cada linha da área útil da parcela.

**d) Produtividade de palhada ( $t\ ha^{-1}$  de massa de matéria seca) e produtividade de colmos ( $t\ ha^{-1}$ ):** foi realizada a colheita manual e sem queima, em 2 m de cada linha da área útil da parcela. Em seguida, e separadamente, foram pesados os colmos (Apêndice - Figura 6) e a palhada (folhas e ponteiros) (Apêndice - Figura 7a), utilizando uma balança digital com precisão de duas casas decimais. Realizou-se ainda a coleta de amostras da palhada (Apêndice - Figura 7b) e dos colmos para determinação de massa de matéria seca, mediante secagem, até massa constante em estufa de circulação forçada de ar a 65 e 67°C.

#### 5.4.7 Acúmulo de P no colmo e na palhada e teor de P no caldo

O P acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar foi determinado, separando-se a palhada (folhas e ponteiro) e os colmos da área útil de cada parcela. Após a pesagem do material fresco, uma porção de 500 g de palhada foi coletada, e

posteriormente secas em estufa (65 a 67°C), moídas em moinho tipo Willey para a determinação do teor de P. Além disso, coletaram-se dez colmos de cada parcela e os submeteram a um desintegrador e, em seguida, a uma prensa hidráulica para a extração do caldo e do bagaço (Apêndice - Figura 8).

As amostras do bagaço (colmo prensado e desintegrado) foram secas em estufa (65 a 67°C) e determinado o teor de P. O caldo extraído a partir da prensa hidráulica foi congelado e, posteriormente, determinou-se o teor de P no caldo, utilizando-se de 100 mL de caldo por amostra.

A análise química, para determinar os teores de P no colmo, na palhada e no caldo, foi realizada de acordo com o método descrito por Bataglia et al. (1983). A quantidade de P extraída pela planta foi estimada em função dos teores do nutriente na parte aérea (folhas e colmos) e da produção de biomassa (folhas e colmos) (Quantidade de P extraída= teores de nutrientes na parte aérea multiplicada pela biomassa).

#### **5.4.8 Análise tecnológica**

Na colheita, foram realizadas amostragens de dez colmos contíguos da área útil da parcela, para a avaliação da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Na análise tecnológica, avaliaram-se o teor de sacarose (Pol% cana), fibra, pureza e concentração de sólidos solúveis no caldo (Brix), segundo o método descrito em Consecana (2006). Com os resultados obtidos pela análise tecnológica, foi calculado o ATR, ou açúcar teórico recuperável ( $\text{kg t}^{-1}$ ), conforme método proposto pela Consecana (2006).

#### **5.5 Análise dos resultados**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, seguindo-se da aplicação do teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias das fontes de P e torta de filtro. Em relação à fonte de variação quantitativa (doses de P), foi realizada análise de regressão polinomial, mediante a utilização do programa estatístico SISVAR 3.01 (FERREIRA, 2011).



Além disso, aplicou-se o teste de correlação linear simples entre as variáveis mensuradas, utilizando-se do programa estatístico Assistat, versão 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Atributos químicos do ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

As doses de fósforo e a torta de filtro afetaram o teor de P no solo da camada de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade, não havendo efeito das fontes do nutriente e das interações, exceto a dose de torta de filtro na camada de 0-0,2 m de profundidade (Tabela 7).

Em ambos os solos, as fontes de P não promoveram alterações significativas no teor de P, teor de matéria orgânica e valor de pH dos solos, nas camadas de 0-20 cm e 0,2-0,4 m de profundidade (Tabelas 7 e 8). A aplicação de P incrementou o teor do nutriente no Argissolo, obtendo as seguintes médias para os teores de P com a fonte superfosfato triplo (36 e 34 mg dm<sup>-3</sup>), fosfato natural Bayóvar (39 e 29 mg dm<sup>-3</sup>) e fosfato natural de Araxá (35 e 28 mg dm<sup>-3</sup>), nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, respectivamente, e no Latossolo com a fonte de superfosfato triplo (41 e 25 mg dm<sup>-3</sup>), fosfato natural Bayóvar (37 e 20 mg dm<sup>-3</sup>) e fosfato natural de Araxá (42 e 22 mg dm<sup>-3</sup>), nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, respectivamente. Esses teores são classificados de médios a altos, de acordo com Raij et al. (1997).

Outros trabalhos comprovaram que a adubação com fosfatos naturais na cultura da cana-de-açúcar, quando considerada a solubilidade do P em ácido cítrico, apresenta eficiência igual ou, em alguns casos, superior às com fontes de P solúveis. Caione et al. (2015), avaliando os efeitos de fontes de P (fosfato natural de Araxá, Bayóvar e superfosfato triplo) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, não verificaram diferenças entre as fontes testadas para o teor de P disponível na camada de 0-0,2 m. Neste sentido, Moda (2015), avaliando fontes de P (fosfato natural de Araxá, Gafsa e superfosfato triplo), em Argissolo e em Latossolo, não verificaram diferenças das fontes no teor de P disponível nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, em ambos os solos.

**Tabela 7.** Teores de fósforo no solo (resina), matéria orgânica (MO) e pH nas camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m de profundidade, em função de fontes e doses de P (kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	P resina		MO		pH CaCl <sub>2</sub>	
	0-0,2 m ----- mg dm <sup>-3</sup> -----	0,2-0,4 m	0-0,2 m ----- g dm <sup>-3</sup> -----	0,2-0,4 m	0-0,2 m	0,2-0,4 m
<b>Fontes</b>						
Araxá	34,92	27,83	12,04	9,54	4,53	4,63
Bayóvar	38,96	29,42	12,04	9,88	4,59	4,71
Superfosfato Triplo	36,42	33,67	12,42	9,67	4,50	4,60
DMS	9,35	7,69	0,97	0,59	0,15	0,19
<b>Doses</b>						
0	19,33	14,50	11,67	9,50	4,53	4,58
90	29,50	23,17	12,56	9,83	4,48	4,61
180	43,11	38,94	12,28	9,50	4,55	4,73
360	55,11	44,61	12,17	9,94	4,61	4,66
<b>Torta de filtro</b>						
Presença	42,94 a	36,11 a	12,81 a	10,08 a	4,64 a	4,91 a
Ausência	30,58 b	24,50 b	11,53 b	9,31 b	4,44 b	4,38 b
DMS	6,35	5,22	0,66	0,40	0,10	0,13
----- Valor F -----						
Fontes (F)	0,56 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>
Doses (D)	24,61 <sup>**</sup>	28,75 <sup>**</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>
Torta (T)	15,38 <sup>**</sup>	20,05 <sup>**</sup>	15,41 <sup>**</sup>	15,19 <sup>**</sup>	15,95 <sup>**</sup>	66,41 <sup>**</sup>
F x D	0,25 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1,26 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
F x T	0,18 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>
D x T	3,15 <sup>*</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,17 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
CV (%)	36,4	36,3	11,4	8,7	4,7	5,9

\*\*; \* e <sup>ns</sup>: 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 fato de a fonte de P de alta solubilidade (superfosfato triplo) não apresentar diferenças em relação às fontes de baixa solubilidade, no teor de P disponível nos solos, pode ser atribuído às características de cada fonte ao tempo de aplicação (efeito residual). Isso implica afirmar que, para fontes de maior solubilidade, como o superfosfato triplo, o P é rapidamente adsorvido nos solos, tendo maior eficiência no primeiro ano após a aplicação, conforme foi observado no experimento da cana-planta (CAIONE, 2013). De modo contrário, as fontes de menor solubilidade, como os fosfatos naturais, liberam o P mais lentamente, apresentando maior efeito

residual da adubação fosfatada (CAIONE et al., 2011a). Aliado a isso, deve-se considerar o fato de que as doses de  $P_2O_5$  foram baseadas no P solúvel dos fertilizantes, em ácido cítrico.

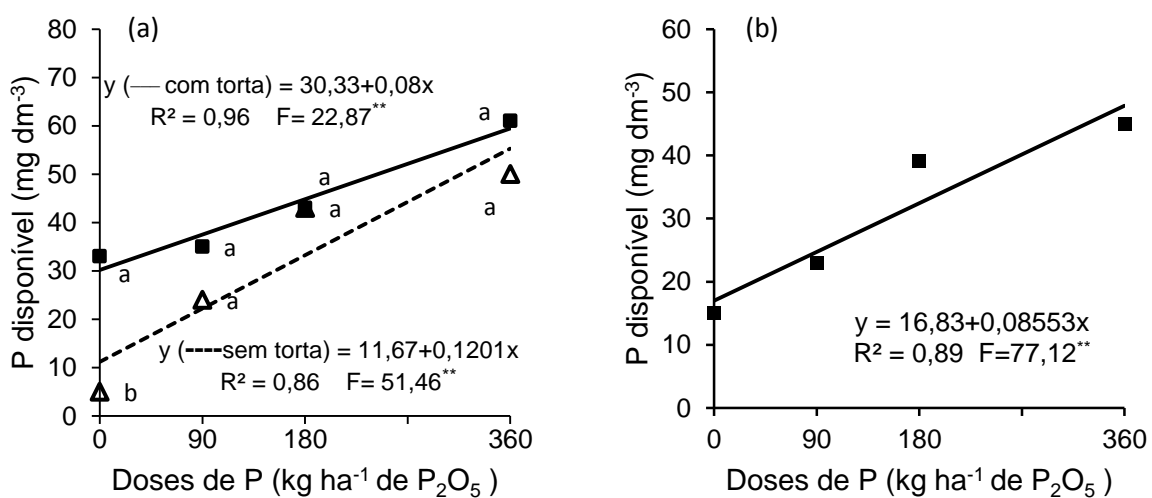
**Tabela 8.** Teores de fósforo no solo (resina), matéria orgânica (MO) e pH nas camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m de profundidade, em função de fontes e doses de P ( $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

	P resina		MO		pH	
	0-0,2 m ----- $mg\ dm^3$ -----	0,2-0,4 m	0-0,2 m ----- $g\ dm^3$ -----	0,2-0,4 m	0-0,2 m	0,2-0,4 m
Fontes						
Araxá	41,54	22,08	11,21	8,46	5,06	5,16
Bayóvar	36,71	20,25	11,25	8,29	5,04	5,15
Superfosfato Triplo	41,13	24,79	11,38	8,13	5,12	5,19
DMS	6,98	5,39	0,58	0,50	0,15	0,13
Doses						
0	19,67	8,50	11,33	8,33	5,12	5,22
90	30,11	14,78	10,88	8,06	5,14	5,23
180	50,39	29,17	11,39	8,39	4,99	5,08
360	59,00	37,06	11,50	8,39	5,06	5,16
Torta de filtro						
Presença	48,86 a	28,50	12,67 a	8,67 a	5,15 a	5,26 a
Ausência	30,72 b	16,50	9,89 b	7,92 b	5,00 b	5,08 b
DMS	4,73	3,66	0,38	0,34	0,10	0,09
----- Valor F -----						
Fontes (F)	1,73 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
Doses (D)	59,06 <sup>**</sup>	51,67 <sup>**</sup>	2,04 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>
Torta (T)	59,48 <sup>**</sup>	41,81 <sup>**</sup>	218,63 <sup>**</sup>	19,47 <sup>**</sup>	8,96 <sup>**</sup>	17,46 <sup>**</sup>
F x D	1,95 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
F x T	1,60 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
D x T	2,26 <sup>ns</sup>	3,09 <sup>*</sup>	2,27 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,61 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
CV (%)	25,1	34,5	7,1	8,7	4,3	3,7

\*\*; \* e <sup>ns</sup>: 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 ( $P<0,05$ ).

Foi observado efeito das doses de P apenas para o teor de P disponível, independentemente da camada de solo analisada. Para a matéria orgânica e o valor de pH, não foi verificada diferenças entre as doses de P aplicadas, tanto no Argissolo, como no Latossolo.

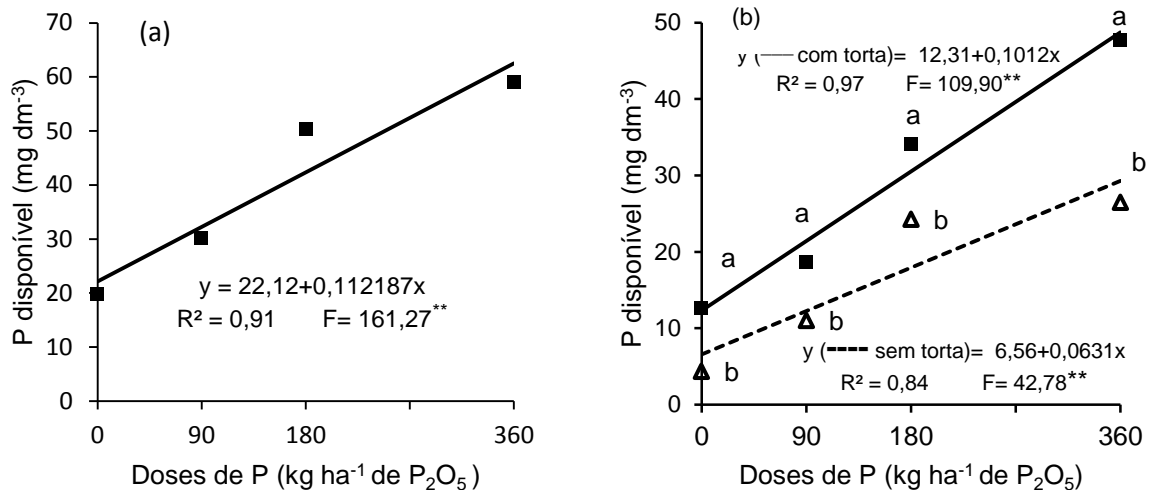
Houve interação entre doses de P e torta de filtro para o teor de P no Argissolo, na camada de 0-0,2 m (Figura 2a). Embora todas as doses tenham apresentado maiores teores de P no solo, na presença da torta de filtro, somente na ausência da aplicação de P houve significância entre a presença e a ausência da torta de filtro, de modo que a aplicação do composto orgânico promoveu aumento médio de  $27,3 \text{ mg dm}^{-3}$  de P em relação ao tratamento com a ausência da torta de filtro. Verificou-se efeito isolado das doses de P com ajuste linear para o teor de P no solo, na camada subsuperficial (Figura 2b).



**Figura 2.** Efeito das doses de P com e sem torta de filtro, no teor de P disponível (resina) no solo, na profundidade de 0-0,2 m (média de três fontes de fósforo) (a) e das doses de P no teor de P disponível (resina) no solo, na profundidade de 0,2-0,4 m (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) (b), em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico cultivado com cana-de-açúcar. \*\*: significativo ao nível de 0,01% de probabilidade. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). DMS= 12,69.

No Latossolo, verificou-se efeito isolado das doses de P com ajuste linear para teor de P no solo, na profundidade de 0-0,2 m (Figura 3a). Contudo, na camada de 0,2-0,4 m, foi verificado interação entre as doses de P e torta de filtro (Figura 3b), sendo observado maior teor de P com a aplicação da torta de filtro, independentemente das doses de P.

Estes resultados evidenciam o importante aporte de P que a torta de filtro confere aos solos, devido à composição do composto orgânico utilizado apresentar o referido elemento ( $P = 9,2 \text{ g kg}^{-1}$ ). O uso da torta de filtro no sulco de plantio da cana-de-açúcar tem potencial para substituir parte da adubação química fosfatada (SANTOS et al., 2011), aumentando os teores de P no solo.



**Figura 3.** Efeito das doses de P no teor de P disponível (resina) no solo, na profundidade de 0-0,2 m (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) (a) e das doses de P com e sem torta de filtro no teor de P disponível (resina) no solo, na profundidade de 0,2-0,4 m (média de três fontes de fósforo) (b), em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cultivado com cana-de-açúcar. \*\*: significativo ao nível de 0,01% de probabilidade. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). DMS= 7,32.

Vários autores relataram o efeito benéfico da adubação mineral fosfatada associada à torta de filtro (BOKHTIAR; PAUL; ALAM; 2008; SANTOS et al., 2010; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011), maximizando o efeito da adubação química e elevando os teores de P no solo (CAIONE et al., 2015), pois a aplicação da torta de filtro possibilita a redução da fixação de P pelo solo, devido às substâncias húmicas presentes nesse resíduo (LIMA, 2011), associado ao aumento no crescimento microbológico e no aumento de atividade enzimática no solo, ligadas à solubilização e, conseqüentemente, à disponibilização do P (YANG et al., 2013).

A aplicação da torta de filtro também promoveu aumento na matéria orgânica do solo e no valor de pH no Argissolo e no Latossolo (Tabelas 7 e 8). Conforme verificado por outros autores, a aplicação da torta de filtro promoveu aumento do valor de pH (CAMPOS et al., 2016) e matéria orgânica do solo (MODA, 2015).

O aumento do pH com a aplicação da torta de filtro deve-se à alcalinidade deste composto, pois durante a produção da torta de filtro, no processo de clarificação do caldo, é adicionada a cal. Isso confere ação corretiva da acidez do solo com a aplicação deste composto (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011).

## **6.2 Indicadores microbiológicos e atividades enzimáticas do ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico**

Em ambos os solos, verificou-se efeito das fontes e das doses de P e da torta de filtro na atividade enzimática da APase, da desidrogenase, na respiração e no carbono da biomassa microbiana (Tabelas 9 e 10). Houve interação apenas entre fontes e doses de P para a atividade da desidrogenase no Argissolo.

Dentre os indicadores da qualidade microbiológica dos solos, destacam-se: a atividade da enzima desidrogenase (MELERO et al., 2009), a atividade respiratória (NEOGI et al., 2014) e o carbono da biomassa microbiana (BABUJIA et al., 2010). Ocorreu maior atividade dessas variáveis no Argissolo e no Latossolo sob aplicação de fontes de P de baixa solubilidade (fosfatos de Araxá e Bayóvar), indicando maior atividade microbiana nos solos com estes tratamentos.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Campos et al. (2016), avaliando efeitos de fontes de P aciduladas (superfosfato triplo) e fosfato natural (Apatita) na microbiologia do solo. Os autores concluíram que a aplicação de P na forma de fosfato natural proporcionou maior população de microrganismos no solo.

Este resultado pode ser atribuído à presença de P insolúvel na rocha fosfatada, havendo aumento da atividade microbiológica a fim de realizar a solubilização do P (CAMPOS et al., 2016), incrementando, assim, os teores deste nutriente no solo. Em complemento, observou-se a correlação positiva da atividade da desidrogenase ( $r = 0,42^{**}$  e  $0,45^{**}$ ), respiração ( $r = 0,53^{**}$  e  $0,51^{**}$ ) e carbono da

biomassa microbiana ( $r = 0,52^{**}$  e  $0,49^{**}$ ) com o teor de P no Argissolo e no Latossolo, respectivamente.

**Tabela 9.** Atividade da fosfatase ácida (APase), atividade da desidrogenase (AD), atividade respiratória microbiana (ARM) e carbono da biomassa microbiana (CBM), em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	APase $\mu\text{g h}^{-1}$ por g de solo	AD $\mu\text{g g}^{-1}$ de TPF no solo por 24h	ARM $\mu\text{g g}^{-1}$ de $\text{CO}_2$ no solo	CBM $\mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo
<b>Fontes</b>				
Araxá	254,75	71,16	559,92 a	154,46 a
Bayóvar	255,62	71,81	531,04 a	154,87 a
Superfosfato Triplo	238,18	66,07	446,67 b	137,42 b
DMS	26,98	5,04	58,35	15,65
<b>Doses</b>				
0	268,26	63,44	399,33	125,83
90	253,96	71,38	532,44	155,62
180	244,38	71,32	549,44	153,90
360	231,46	72,60	568,94	160,31
<b>Torta de filtro</b>				
Presença	263,63 a	77,06	560,91 a	165,05
Ausência	235,40 b	62,31	464,17 b	132,77
DMS	18,30	3,42	39,59	10,62
	----- Valor F -----			
Fontes (F)	1,56 <sup>ns</sup>	4,55 <sup>*</sup>	11,94 <sup>*</sup>	4,75 <sup>**</sup>
Doses (D)	2,92 <sup>*</sup>	6,11 <sup>**</sup>	15,30 <sup>**</sup>	8,77 <sup>**</sup>
Torta (T)	9,64 <sup>**</sup>	75,19 <sup>**</sup>	24,20 <sup>**</sup>	37,43 <sup>**</sup>
F x D	0,21 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
F x T	0,18 <sup>ns</sup>	4,20 <sup>*</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>
D x T	0,25 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,03 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>
CV (%)	15,5	10,4	16,3	15,0

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> e <sup>ns</sup>: 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 ( $P < 0,05$ ).



**Tabela 10.** Atividade da fosfatase ácida (APase), atividade da desidrogenase (AD), atividade respiratória microbiana (ARM) e carbono da biomassa microbiana (CBM), em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

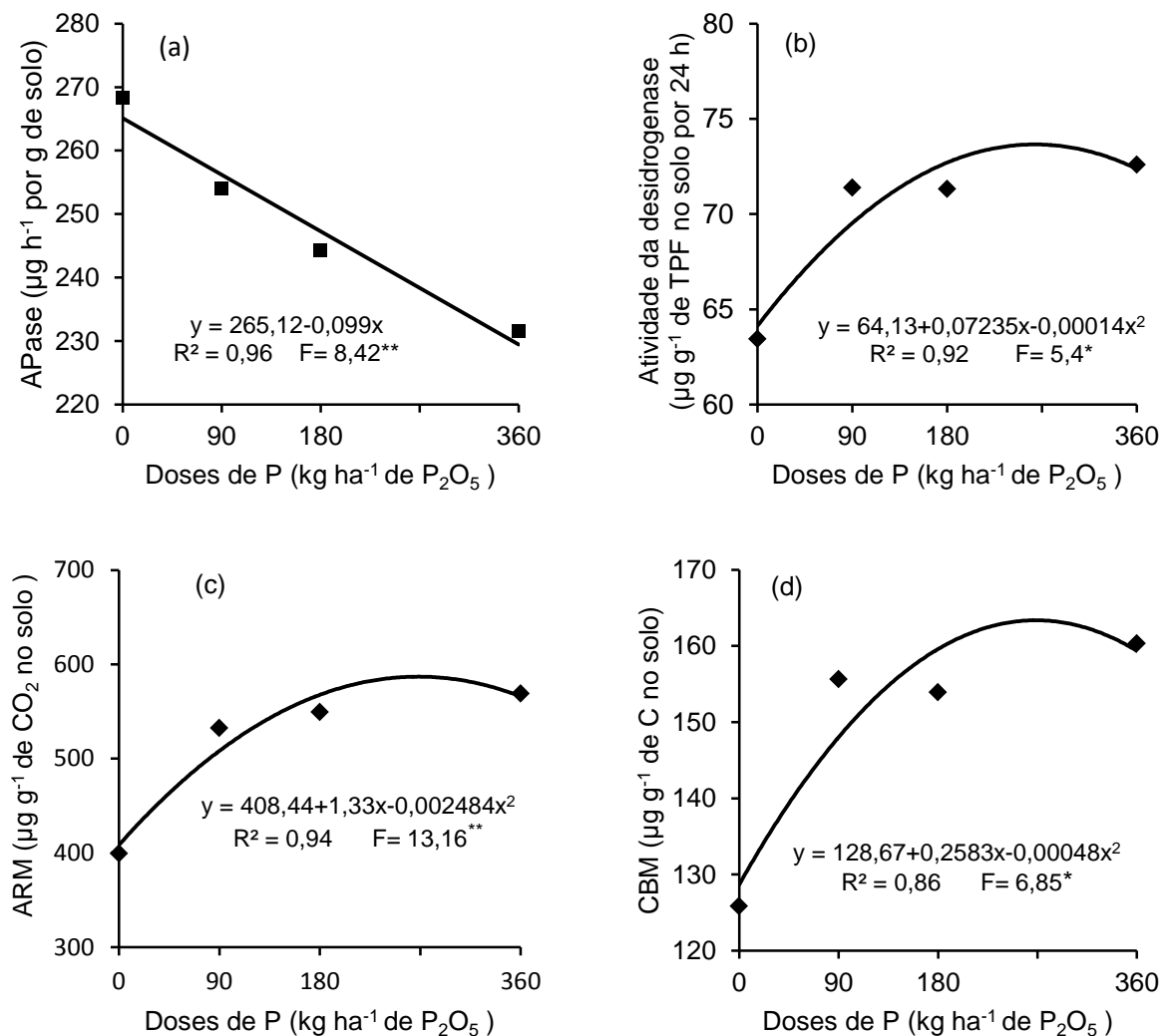
	APase $\mu\text{g h}^{-1}$ por g de solo	AD $\mu\text{g g}^{-1}$ de TPF no solo por 24h	ARM $\mu\text{g g}^{-1}$ de $\text{CO}_2$ no solo	CBM $\mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo
<b>Fontes</b>				
Araxá	237,95	45,48 a	274,38 a	200,00 a
Bayóvar	237,42	45,29 a	274,24 a	189,56 ab
Superfosfato Triplo	222,62	36,91 b	247,78 b	171,93 b
DMS	22,80	5,50	22,45	19,13
<b>Doses</b>				
0	271,07	33,77	232,57	158,01
90	229,63	45,42	265,16	186,56
180	218,91	44,46	271,19	197,11
360	211,04	46,60	292,97	206,97
<b>Torta de filtro</b>				
Presença	245,02 a	47,93 a	288,03 a	206,69 a
Ausência	220,31 b	37,19 b	242,91 b	167,64 b
DMS	15,47	3,73	15,23	12,98
----- Valor F -----				
Fontes (F)	1,71 <sup>ns</sup>	9,28 <sup>**</sup>	5,47 <sup>**</sup>	6,45 <sup>**</sup>
Doses (D)	12,08 <sup>**</sup>	10,21 <sup>**</sup>	10,90 <sup>**</sup>	10,76 <sup>**</sup>
Torta (T)	10,34 <sup>**</sup>	33,56 <sup>**</sup>	35,57 <sup>**</sup>	36,67 <sup>**</sup>
F x D	0,27 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>
F x T	0,03 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	3,11 <sup>ns</sup>
D x T	0,16 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,11 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
CV (%)	14,0	18,5	12,1	14,6

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

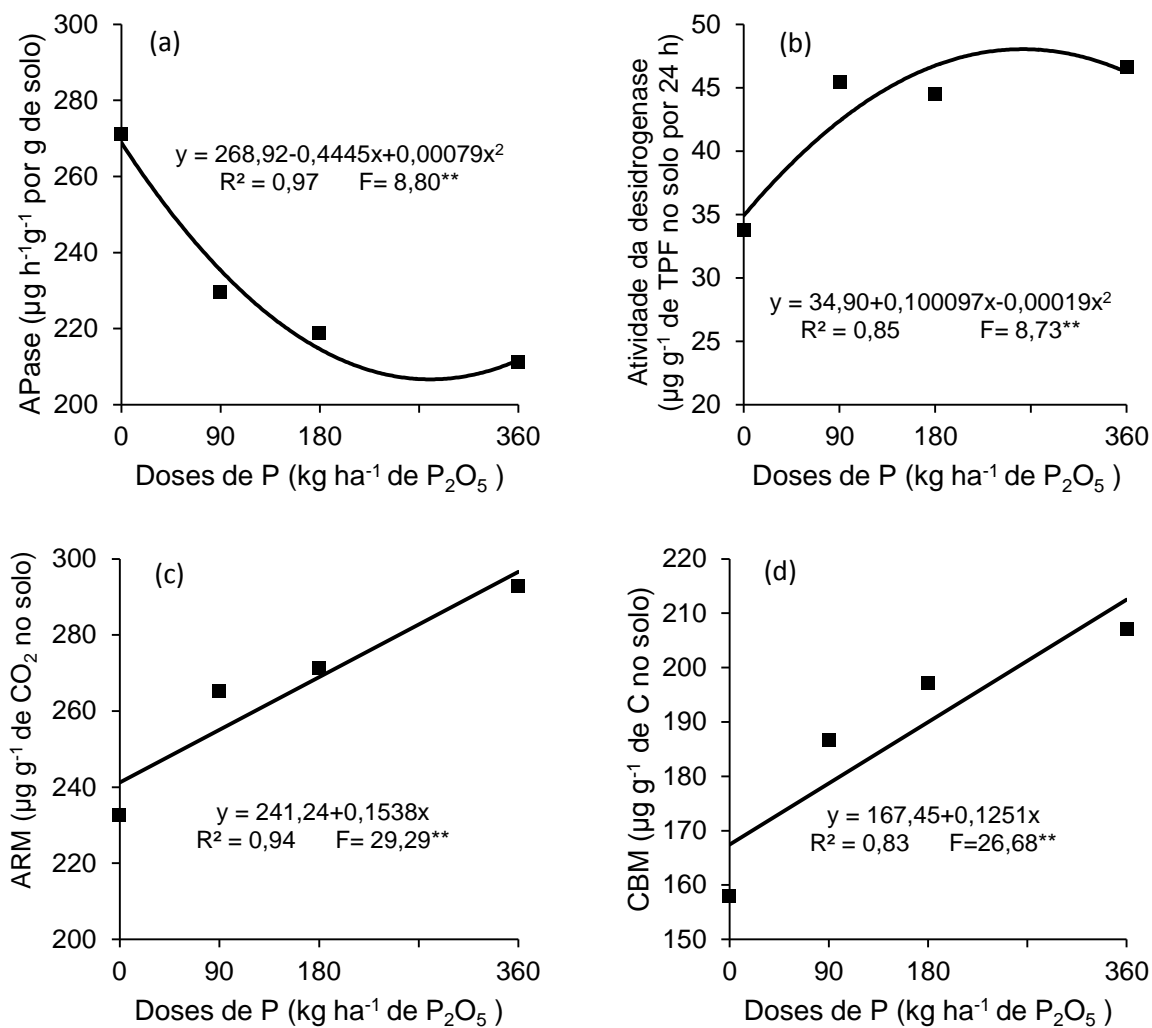
Destaca-se, também, o efeito das doses de P nas variáveis microbiológicas de ambos os solos estudados. A aplicação de P promoveu aumento na atividade da desidrogenase (Figuras 4b; 5b), respiração (Figuras 4c; 5c) e carbono da biomassa microbiana (Figuras 4d; 5d). Ressalta-se que o P é um elemento essencial para os seres vivos, fazendo parte de proteínas, ácidos nucleicos, membranas e moléculas energéticas, como o ATP (Adenosina trifosfato) e o GTP (Guanosina trifosfato) (AZZIZ et al., 2012). Os microrganismos são essenciais para o ciclo do P no solo, realizando transformações desse elemento para formas disponíveis, sendo este

nutriente disponibilizado para as plantas ou imobilizado pelos microrganismos (BUSATO; CANELLAS; VELLOSO, 2005).

Em função do aumento das doses de P, foi observada a diminuição da atividade enzimática da APase em ambos os solos (Figuras 4a e 5a). Este comportamento pode estar relacionado ao aumento da disponibilidade de P inorgânico no solo, o que inibe a atividade dessa enzima.



**Figura 4.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo) sobre a atividade da fosfatase ácida (APase) (a), atividade da desidrogenase (b), atividade respiratória microbiana (ARM) (c) e teor de carbono da biomassa microbiana (CBM) (d) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, cultivado com cana-de-açúcar. <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: significativo ao nível de 0,01 e 0,05% de probabilidade.



**Figura 5.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) sobre a atividade da fosfatase ácida (APase) (a), atividade da desidrogenase (b), atividade respiratória microbiana (ARM) (c) e teor de carbono da biomassa microbiana (CBM) (d) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, cultivado com cana-de-açúcar. \*\*: significativo ao nível de 0,01% de probabilidade.

A aplicação da torta de filtro, independentemente do solo estudado, promoveu maior atividade da APase, em relação à ausência de sua aplicação (Tabelas 9 e 10). Este fato pode ser explicado devido à presença de fósforo inorgânico neste composto.

O manejo do solo influencia diretamente sobre a atividade microbológica do mesmo (BALOTA et al., 2004), sobretudo enzimas ligadas aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes. A adubação com esse resíduo orgânico

aumenta os hidratos de carbono, sendo este substrato prontamente disponível aos microrganismos e às enzimas do solo.

Associado a isso, na composição da torta de filtro, há P orgânico, e sabe-se que, ao elevar os teores de P orgânico no solo, há aumento da atividade dessa enzima, pois a APase atua na hidrólise de substratos fosforilados para fornecer P inorgânico (DICK; SANTOS; MEYER-FERNANDES, 2011), podendo ser absorvido pelas plantas ou imobilizado pela microbiota do solo.

Em solos intemperizados, com limitações de P, as plantas e os microrganismos possuem adaptações para reciclar de forma eficiente o P oriundo da matéria orgânica, por meio de enzimas fosfatases, de acordo com Kitayama (2013). Este autor relatou que as raízes e os microrganismos presentes em solos com baixo teor de P produzem fosfatases como resposta à deficiência deste nutriente no solo.

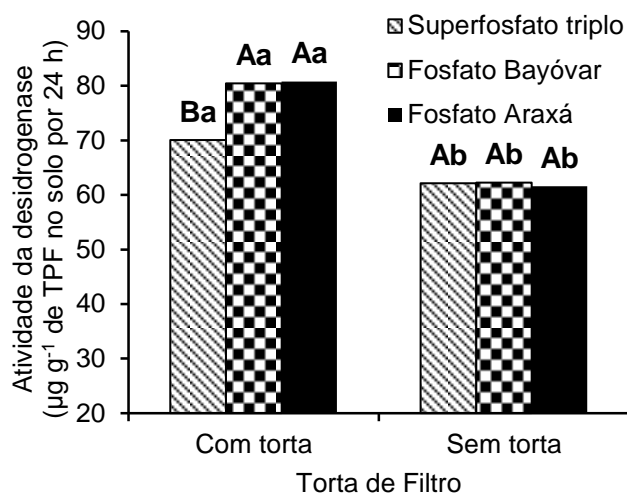
Contudo, a atividade dessa enzima é reduzida na presença de fósforo inorgânico. Conforme pode ser observado nas Figuras 4a e 5a, houve aumento do teor de P disponível nos solos em função da aplicação das doses de  $P_2O_5$ . Alguns autores atribuem a diminuição da atividade dessa enzima à presença do P inorgânico, pois sua síntese por meio dos microrganismos é regulada em função dos teores deste elemento (BARGAZ et al., 2012; KITAYAMA, 2013).

A atividade da desidrogenase, respiração e carbono da biomassa microbiana apresentaram efeitos significativos para doses de  $P_2O_5$ . No Argissolo, foi observada resposta quadrática para efeito de doses de  $P_2O_5$  sobre a atividade da desidrogenase (Figura 4b), respiração (Figura 4c) e carbono da biomassa microbiana (Figura 4d), apresentando os níveis mais altos com as doses de 264,1; 267,7 e 269,1  $kg\ ha^{-1}$ , respectivamente.

No Latossolo, a maior atividade da desidrogenase ocorreu na dose de 262  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Figura 5b) e para respiração e carbono da biomassa microbiana verificou-se incremento linear com as doses de  $P_2O_5$  (Figuras 5c; 5d), respectivamente.

A atividade da desidrogenase no Argissolo foi dependente das fontes de P e da torta de filtro (Figura 6), tendo maior atividade na presença da torta de filtro, em relação à ausência do composto orgânico e com fontes de P de baixa solubilidade (Araxá e Bayóvar). O efeito benéfico da associação da adição de composto orgânico

sobre o incremento de microrganismos no solo que foi adubado com fosfatos naturais pode ser explicado devido aos microrganismos produtores de ácidos orgânicos e de enzimas responsáveis pela solubilização do P destas fontes (AGUILA et al., 2016; CAMPOS et al., 2016).



**Figura 6.** Efeito da interação de torta de filtro e de fontes de P sobre a atividade da desidrogenase (médias de fontes de P na ausência e na presença da torta de filtro) em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, cultivado com cana-de-açúcar. Letras maiúsculas comparam as fontes de P dentro de torta. Letras minúsculas comparam o efeito da torta em cada fonte. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). DMS (fonte): 7,13 e DMS (torta): 5,93.

De modo geral, em ambos os solos, a aplicação da torta de filtro promoveu aumento nos atributos microbiológicos, em relação à ausência de sua aplicação (Tabelas 9 e 10). Este resultado está relacionado com a sensibilidade dos microrganismos do solo às variações do ambiente; por isso, com a adição do composto orgânico, houve aumento da atividade microbiana do solo.

Os benefícios do uso deste composto orgânico aos microrganismos e às atividades enzimáticas do solo foram relatados por diversos autores (AGUILA et al., 2016; PRADO; CAIONE; CAMPOS, 2013). Em outros trabalhos sobre o mesmo tema, Moda et al. (2014) e Campos et al. (2016) verificaram aumento nos microrganismos solubilizadores de fosfato no solo ao associarem a torta de filtro à adubação fosfatada.

### **6.3 Diagnose nutricional da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico**

#### **6.3.1 Diagnose foliar aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar**

Para época de amostragem foliar aos quatro meses, no Argissolo, não foram verificados efeitos das fontes de P para os teores foliares de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) (Tabelas 11 e 12).

De maneira geral, os valores médios de teores foliares de macronutrientes estão adequados de acordo com as faixas de suficiência proposta por Malavolta (1992), sendo estas: 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<sup>-1</sup>.

Somente o N e o Ca ficaram com valores abaixo da faixa de suficiência. Resultados semelhantes a estes são reportados por Caione (2013) em trabalho com o mesmo material genético cultivado em Argissolo, obtendo valores de N e de Ca abaixo da faixa de suficiência.

Ressalta-se que, embora a diagnose nutricional tenha mostrado que os referidos nutrientes estejam abaixo da faixa de suficiência, foram realizadas a calagem e a adubação nitrogenada de acordo com as recomendações de Raij e Cantarella (1997) para a cultura da cana-de-açúcar. Os teores foliares baixos desses nutrientes, possivelmente, podem ser atribuídos ao período de baixa precipitação pluvial próximo à época de amostragem, conforme a Figura 1.

Observou-se efeito isolado da torta de filtro para o teor de P foliar, de modo que a aplicação da torta de filtro promoveu aumento nos teores foliares desse nutriente (Tabela 11). Este resultado pode estar associado ao efeito da torta de filtro no solo, pois sua aplicação promoveu aumento do P disponível no Argissolo (Tabela 7), proporcionando maior teor foliar de P. Alguns autores relataram os efeitos da aplicação da torta de filtro sobre o aumento do teor de P disponível no solo e, conseqüentemente, nos teores foliares desse elemento em plantas de cana-de-açúcar (VASCONCELOS et al., 2014; CAIONE et al., 2015).

Pode-se inferir que este aumento do teor de P foliar causado pela aplicação da torta de filtro esteja relacionado ao aporte de P ao solo, pois este composto orgânico possui P em sua composição. Associado a isso, os ácidos existentes na constituição

da torta de filtro atuam no bloqueio dos sítios de adsorção de P no solo, promovendo maior disponibilidade do nutriente às plantas (VASCONCELOS, 2013).

**Tabela 11.** Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g $\text{kg}^{-1}$ -----					
Fontes						
Araxá	15,91	2,23	13,38	3,24	2,47	1,58
Bayóvar	16,18	2,24	13,46	3,06	2,45	1,46
Superfosfato Triplo	15,89	2,27	13,38	3,05	2,45	1,54
DMS	1,37	0,19	0,83	0,24	0,16	0,18
Doses						
0	16,27	1,70	13,55	3,15	2,47	1,49
90	15,76	2,42	13,27	3,05	2,47	1,52
180	15,91	2,43	13,57	3,18	2,42	1,57
360	16,01	2,43	13,23	3,08	2,46	1,52
Torta de filtro						
Presença	16,04	2,37a	13,36	3,14	2,48	1,55
Ausência	15,94	2,13b	13,45	3,09	2,43	1,50
DMS	0,93	0,13	0,56	0,16	0,11	0,12
	----- Valor F -----					
Fontes (F)	0,17 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>
Doses (D)	0,22 <sup>ns</sup>	31,48 <sup>**</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
Torta (T)	0,05 <sup>ns</sup>	14,01 <sup>**</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
F x D	0,05 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
F x T	0,03 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>
D x T	0,15 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,02 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>
CV (%)	12,3	12,2	8,8	11,1	9,6	16,9

\*\* 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 ( $P < 0,05$ ).

Para os micronutrientes, os valores médios de teores de B e Mn estão adequados à faixa de suficiência descrita por Malavolta (1992) (B = 15-50; Cu = 8-10; Fe = 200-500; Mn = 70-100 e Zn = 25-50  $\text{mg kg}^{-1}$ ). No entanto, os teores dos outros micronutrientes avaliados (Cu, Fe e Zn) estão abaixo dessa faixa de suficiência, apesar desses teores foliares serem semelhantes aos obtidos em outros trabalhos (FONSECA, 2011; CAIONE, 2013).

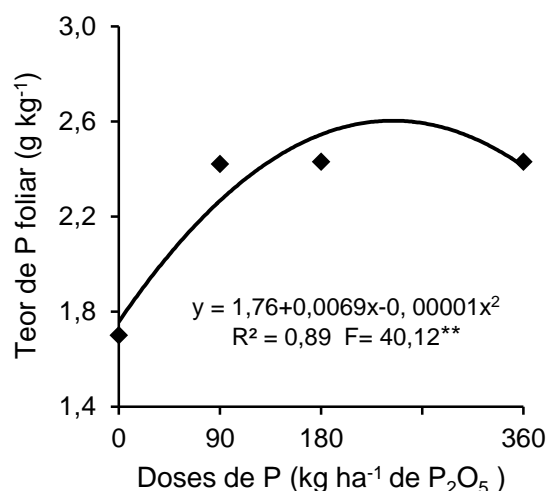
**Tabela 12.** Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg $\text{kg}^{-1}$ -----				
Fontes					
Araxá	22,49	6,25	83,17	106,63	20,88
Bayóvar	21,65	5,88	81,21	96,13	20,63
Superfosfato Triplo	21,03	5,88	82,54	93,63	20,25
DMS	2,52	0,71	7,40	17,26	3,04
Doses					
0	20,84	6,00	81,00	97,50	19,50
90	21,70	6,00	82,94	95,00	22,17
180	23,63	6,17	83,39	104,00	21,33
360	20,74	5,83	81,89	98,66	19,33
Torta de filtro					
Presença	22,18	5,92	82,83	98,75	20,92
Ausência	21,28	6,08	81,78	98,83	20,25
DMS	1,71	0,48	5,02	11,71	2,06
	----- Valor F -----				
Fontes (F)	0,99 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	1,88 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
Doses (D)	2,49 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>
Torta (T)	1,13 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
F x D	1,50 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
F x T	1,21 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>
D x T	0,34 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,61 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
CV (%)	16,6	16,9	12,9	24,9	21,1

<sup>ns</sup>: não significativo, respectivamente, pelo teste F.

Aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, no Argissolo, foi verificado efeito isolado de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , sendo que o maior teor de P foliar obtido foi de  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ , com a dose de  $345 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 7).





**Figura 7.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) sobre o teor de P foliar, aos quatro meses após a brotação, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico cultivado com cana-de-açúcar. \*\*: significativo ao nível de 0,01% de probabilidade.

No Latossolo, não foram verificados efeitos das fontes de P para os teores foliares de macronutrientes e dos micronutrientes avaliados (Tabelas 13 e 14). Verificou-se efeito isolado da torta de filtro para o teor de P foliar, de modo que a aplicação da torta de filtro promoveu aumento nos teores foliares desse nutriente.

Os valores médios obtidos para os teores de macronutrientes, exceto o Mg e o S, foram abaixo das faixas de suficiência propostas por Malavolta (1992), sendo estas: 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<sup>-1</sup>. Os valores médios dos teores de micronutrientes Cu, Fe e Zn estão abaixo da faixa de suficiência descrita por Malavolta (1992). Semelhantemente ao Argissolo, somente o B e o Mn estão em concentrações consideradas adequadas na folha diagnose.

No Latossolo, observou-se interação de doses de P e torta de filtro sobre o teor de P foliar (Figura 8). Na presença da torta de filtro, foram observados maiores teores foliares de P em relação à ausência do composto orgânico, independentemente das doses de P. No entanto, na ausência do composto orgânico, foi observado efeito quadrático, sendo o maior teor de P foliar, de 1,7 g kg<sup>-1</sup>, obtido com a dose de 310 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

**Tabela 13.** Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g $\text{kg}^{-1}$ -----					
Fontes						
Araxá	16,40	1,62	6,96	2,31	1,97	2,62
Bayóvar	16,27	1,62	6,45	2,14	1,73	2,37
Superfosfato Triplo	16,09	1,64	6,48	2,25	1,89	2,50
DMS	1,14	0,08	1,05	0,26	0,33	0,41
Doses						
0	15,96	1,46	6,93	2,10	1,80	2,33
90	16,70	1,66	6,77	2,32	1,99	2,63
180	16,41	1,66	6,26	2,17	1,84	2,49
360	15,94	1,73	6,57	2,34	1,82	2,53
Torta de filtro						
Presença	16,31	1,75 a	6,76	2,24	1,87	2,46
Ausência	16,20	1,50 b	6,50	2,22	1,86	2,53
DMS	0,77	0,06	0,71	0,18	0,22	0,28
	----- Valor F -----					
Fontes (F)	0,21 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>
Doses (D)	0,93 <sup>ns</sup>	17,32 <sup>**</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>
Torta (T)	0,08 <sup>ns</sup>	81,41 <sup>**</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
F x D	0,66 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>
F x T	0,08 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
D x T	0,50 <sup>ns</sup>	8,42 <sup>**</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,53 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>
CV (%)	10,0	7,3	22,6	16,7	25,2	23,5

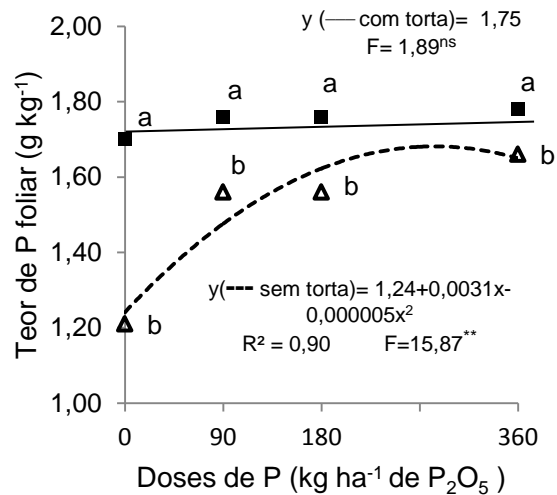
\*\* e <sup>ns</sup>: significativo ( $P < 0,01$ ) e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Os benefícios da adubação fosfatada mineral e, sobretudo a orgânica foram evidenciados por vários autores (TAKEDA et al., 2009; KREY et al., 2013), aumentando a absorção do P em plantas de cana-de-açúcar (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Lima (2011), em estudos sobre a disponibilidade de P para a cultura da cana-de-açúcar em solo tratado com torta de filtro. Este autor verificou que sua aplicação diminuiu a fixação de fósforo no solo, contribuindo para a maior absorção deste elemento pela cultura da cana-de-açúcar.

**Tabela 14.** Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, aos quatro meses após a brotação, em função de fontes e doses de P (kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Fontes					
Araxá	22,22	5,67	86,25	94,88	21,79
Bayóvar	22,02	5,50	88,29	94,46	21,96
Superfosfato Triplo	21,60	5,79	84,38	94,79	21,71
DMS	2,41	1,04	6,95	6,65	2,56
Doses					
0	22,07	5,83	86,17	97,17	21,67
90	21,44	5,78	86,44	94,61	21,72
180	22,21	5,28	87,67	93,28	22,17
360	22,08	5,72	84,94	93,78	21,72
Torta de filtro					
Presença	21,54	5,56	87,81	94,67	21,78
Ausência	22,36	5,75	84,81	94,75	21,86
DMS	1,63	0,70	4,72	4,51	1,74
	----- Valor F -----				
Fontes (F)	0,20 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Doses (D)	0,18 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
Torta (T)	1,00 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
F x D	0,21 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
F x T	0,08 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
D x T	0,26 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,27 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
CV (%)	15,7	26,2	11,5	10,0	16,8

<sup>ns</sup>: não significativo, respectivamente, pelo teste F.



**Figura 8.** Efeito das doses de P com e sem torta de filtro sobre o teor de P foliar em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cultivado com cana-de-açúcar. \*\* e <sup>ns</sup>: significativo ao nível de 0,01% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). DMS: 0,11.

### 6.3.2 Diagnose foliar aos oito meses após a brotação da cana-de-açúcar

Para época de amostragem foliar aos oito meses, no Argissolo, não foram verificados efeitos das fontes de P para os teores foliares de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) (Tabelas 15 e 16). Observou-se efeito isolado da torta de filtro para o teor de P foliar, de modo que a aplicação da torta de filtro promoveu aumento nos teores foliares desse nutriente.

Os valores médios dos teores para os macronutrientes, com exceção do N e do S, estão na faixa de suficiência proposta por Raij e Cantarella (1997) (N = 18-25; P = 1,5-3,0; K = 10-16; Ca = 2-8; Mg = 1,0-3,0 e S = 1,5-3,0 g kg<sup>-1</sup>).

Para os micronutrientes, somente o cobre não se encontra na faixa considerada adequada, de acordo com Raij e Cantarella (1997) B = 10-30; Cu = 6-15; Fe = 40-250; Mn = 25-250 e Zn = 10-50 mg kg<sup>-1</sup>.

As aplicações de P influenciaram sobre os teores foliares deste nutriente, apresentando ajuste quadrático em função das doses de P, obtendo-se o maior teor de P foliar de 2,2 g kg<sup>-1</sup> com a dose de 306,3 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 9), podendo estar associado ao aumento que as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> promoveram no teor de P

disponível do Argissolo (Figura 2), proporcionando maior absorção do P e, conseqüentemente, maiores teores foliares deste nutriente. Este fato pode ser constatado pela correlação positiva do P no solo com P foliar ( $r = 0,41^{**}$ ).

**Tabela 15.** Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g $\text{kg}^{-1}$ -----					
Fontes						
Araxá	16,89	2,02	10,48	3,13	2,12	1,15
Bayóvar	16,94	1,98	10,43	3,13	2,13	1,20
Superfosfato Triplo	17,02	2,04	10,38	3,12	2,20	1,21
DMS	1,07	0,10	0,61	0,26	0,20	0,08
Doses						
0	16,97	1,78	10,48	3,15	2,20	1,17
90	16,99	2,08	10,37	3,13	2,14	1,20
180	16,92	2,05	10,51	3,08	2,12	1,14
360	16,91	2,13	10,37	3,16	2,13	1,24
Torta de filtro						
Presença	16,96	2,06 a	10,54	3,12	2,15	1,18
Ausência	16,94	1,96 b	10,33	3,13	2,14	1,20
DMS	1,07	0,07	0,41	0,17	0,13	0,08
	----- Valor F -----					
Fontes (F)	0,04 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,87 <sup>ns</sup>
Doses (D)	0,01 <sup>ns</sup>	20,64 <sup>**</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	2,57 <sup>ns</sup>
Torta (T)	0,01 <sup>ns</sup>	9,05 <sup>**</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>
F x D	0,06 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	1,98 <sup>ns</sup>
F x T	0,01 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
D x T	0,04 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,01 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>
CV (%)	9,0	7,2	8,3	11,7	13,2	9,4

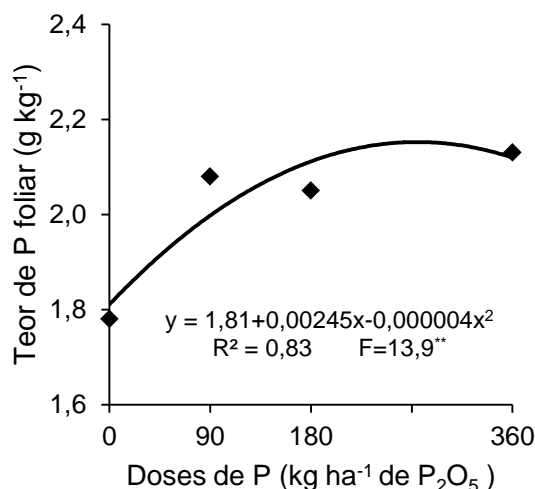
\*\* e ns: significativo ( $P < 0,01$ ) e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores em plantas de cana-de-açúcar. Avaliando os efeitos das mesmas doses e fontes de P, Vasconcelos et al. (2014) e Caione et al. (2015) obtiveram aumento nos teores de P no solo e na planta (diagnose foliar).

**Tabela 16.** Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg $\text{kg}^{-1}$ -----				
<b>Fontes</b>					
Araxá	13,62	3,13	63,58	71,67	20,92
Bayóvar	13,83	3,00	63,79	72,17	21,29
Superfosfato Triplo	13,77	3,00	65,83	71,08	20,38
DMS	1,58	0,25	4,60	12,10	2,22
<b>Doses</b>					
0	13,43	3,00	65,33	72,00	20,50
90	13,70	3,17	63,17	71,72	20,78
180	13,97	3,00	65,44	71,17	20,67
360	13,86	3,00	63,67	71,67	21,50
<b>Torta de filtro</b>					
Presença	13,71	3,00	65,14	71,28	20,78
Ausência	13,77	3,08	63,67	72,00	20,94
DMS	1,07	0,17	3,12	8,21	1,51
	----- Valor F -----				
Fontes (F)	0,05 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
Doses (D)	0,20 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
Torta (T)	0,01 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
F x D	0,04 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>
F x T	0,04 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
D x T	0,04 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,06 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
CV (%)	16,5	11,6	10,2	24,2	15,2

<sup>ns</sup>: não significativo, respectivamente, pelo teste F.



**Figura 9.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) sobre o teor de P foliar, aos oito meses após a brotação, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico cultivado com cana-de-açúcar. \*\*: significativo ao nível de 0,01% de probabilidade.

No Latossolo, não foram verificados efeitos das fontes de P para os teores foliares de macronutrientes e dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) (Tabelas 17 e 18). Observou-se efeito isolado da torta de filtro para o teor de P foliar, de modo que a aplicação da torta de filtro promoveu aumento nos teores foliares desse nutriente.

Os valores médios dos teores para os macronutrientes N, P e K estão abaixo da faixa de suficiência descrita por Raij e Cantarella (1997), apresentando valores médios de teores de 14,2; 1,4 e 6,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. O Ca, Mg e S estão adequados de acordo com a faixa de suficiência. Para os micronutrientes, somente o cobre não se encontra na faixa considerada adequada, de acordo com (Raij e Cantarella (1997).

No Latossolo, verificou-se efeito isolado da aplicação das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com ajuste quadrático. O maior teor de P foliar (1,5 g kg<sup>-1</sup>) foi obtido com a dose de 233,3 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (Figura 10).

As doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas no Latossolo promoveram aumento no P resina (Figura 3), proporcionando maior teor de P disponível no solo e, conseqüentemente, maior absorção e aumento nos teores de P foliar, sendo constatado pela correlação positiva do P no solo com P foliar ( $r = 0,33^{**}$ ).

**Tabela 17.** Teores foliares de macronutrientes na cana-de-açúcar, aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g $\text{kg}^{-1}$ -----					
Fontes						
Araxá	14,19	1,44	6,05	2,44	1,36	2,55
Bayóvar	14,06	1,42	6,17	2,46	1,29	2,26
Superfosfato Triplo	14,21	1,41	5,91	2,40	1,40	2,40
DMS	0,90	0,10	0,48	0,21	0,19	0,43
Doses						
0	14,27	1,33	6,00	2,36	1,37	2,41
90	14,11	1,44	5,92	2,43	1,39	2,49
180	14,06	1,48	6,02	2,44	1,28	2,27
360	14,17	1,46	6,22	2,48	1,37	2,46
Torta de filtro						
Presença	14,01	1,46 a	6,03	2,42	1,32	2,36
Ausência	14,30	1,39 b	6,04	2,44	1,38	2,45
DMS	0,61	0,07	0,33	0,15	0,13	0,43
	----- Valor F -----					
Fontes (F)	0,08 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>
Doses (D)	0,09 <sup>ns</sup>	4,46 <sup>**</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
Torta (T)	0,92 <sup>ns</sup>	4,10 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
F x D	0,21 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>
F x T	0,08 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>
D x T	1,15 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,84 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>
CV (%)	9,1	9,8	11,4	12,6	20,6	25,5

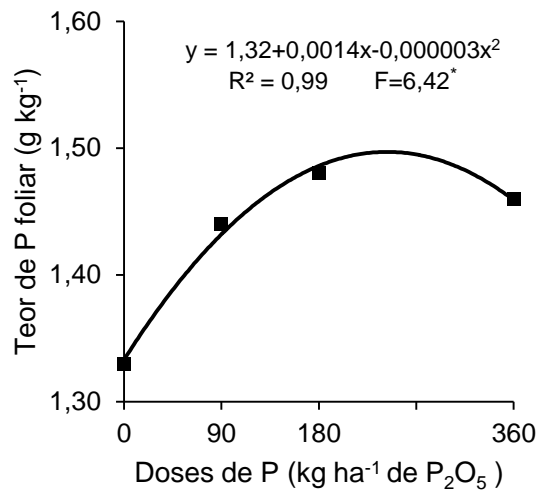
\*\* e <sup>ns</sup>: significativo ( $P < 0,01$ ) e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).



**Tabela 18.** Teores foliares de micronutrientes na cana-de-açúcar, aos oito meses após a brotação, em função de fontes e doses de P (kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Fontes					
Araxá	20,35	4,21	53,92	45,42	10,25
Bayóvar	20,70	4,21	53,92	45,38	11,00
Superfosfato Triplo	20,99	4,08	53,13	46,00	10,83
DMS	1,19	0,43	1,81	4,55	1,36
Doses					
0	20,13	4,11	53,67	46,17	10,56
90	20,56	4,22	52,89	46,33	10,56
180	20,72	4,22	54,83	43,83	10,78
360	21,30	4,11	53,22	46,06	10,89
Torta de filtro					
Presença	20,68	4,06	54,28	44,72	10,56
Ausência	20,68	4,28	53,03	46,47	10,83
DMS	0,81	0,29	4,21	3,08	0,93
	----- Valor F -----				
Fontes (F)	0,86 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>
Doses (D)	1,46 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
Torta (T)	0,01 <sup>ns</sup>	2,31 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>
F x D	0,37 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
F x T	0,76 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	2,23 <sup>ns</sup>	1,59 <sup>ns</sup>
D x T	0,43 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,09 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
CV (%)	8,3	14,9	16,5	14,3	18,3

<sup>ns</sup>: não significativo, respectivamente, pelo teste F.



**Figura 10.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) sobre o teor de P foliar, aos oito meses após a brotação, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cultivado com cana-de-açúcar. \*: significativo ao nível de 0,05 de probabilidade.

De maneira geral, assim como relatado por Caione (2013), os efeitos dos tratamentos sobre a diagnose foliar foram semelhantes em ambos os períodos avaliados e em ambos os solos, apresentando poucas variações entre os teores foliares para os macro e micronutrientes.

#### 6.4 Atividade da fosfatase ácida foliar (APase) e acúmulo de fósforo em cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico

Em ambos os solos, as fontes de P não promoveram alterações significativas sobre a APase e acúmulo de P nas plantas. Exceto no Argissolo, a aplicação de superfosfato triplo proporcionou os maiores acúmulos de P na palhada e total em relação às outras fontes de P (Tabelas 19 e 20).

O fato de não terem sido encontradas diferenças entre as fontes de P para as variáveis de nutrição com P, exceto para acúmulo de P na palha e total no Argissolo, pode estar associado à microbiologia do solo, conforme pode ser observado nas Tabelas 9 e 10, sobretudo com a aplicação do composto orgânico. No presente

estudo, pode-se inferir que os efeitos da ação dos microrganismos e das enzimas do solo atuaram na disponibilização do P de fontes de baixa solubilidade, conforme pode ser observado nos teores de P no solo para estas fontes, em relação à fonte de maior solubilidade (Tabelas 7 e 8).

**Tabela 19.** Atividade da fosfatase ácida na folha (APase), teor de P no caldo, acúmulo de P nos colmos (P colmo), na palhada (P palhada) e P total, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	APase $\text{nmol min}^{-1}$ $\text{mg}^{-1}$	P caldo $\text{mg L}^{-1}$	P colmo ----- $\text{kg ha}^{-1}$ -----	P palhada ----- $\text{kg ha}^{-1}$ -----	P total
<b>Fontes</b>					
Araxá	34,27	195,42	20,97	10,90 b	31,87 b
Bayóvar	34,76	192,69	19,80	10,93 b	30,73 b
Superfosfato	35,49	229,05	24,28	13,34 a	37,63 a
<b>Triplo</b>					
DMS	2,73	43,38	4,49	1,92	5,47
<b>Doses</b>					
0	40,43	88,50	16,66	9,66	26,32
90	34,21	207,47	20,78	10,71	31,49
180	32,95	206,56	21,51	13,05	34,56
360	31,77	253,56	27,38	13,48	40,85
<b>Torta de filtro</b>					
Presença	33,40	206,87 a	25,79 a	12,40 a	38,19 a
Ausência	36,28	171,24 b	17,37 b	11,05 b	28,42 b
DMS	1,85	29,43	3,04	1,31	3,71
----- Valor F -----					
Fontes (F)	0,59 <sup>ns</sup>	2,74 <sup>ns</sup>	3,52 <sup>ns</sup>	6,23 <sup>**</sup>	5,69 <sup>**</sup>
Doses (D)	17,56 <sup>**</sup>	23,27 <sup>**</sup>	8,53 <sup>**</sup>	8,01 <sup>**</sup>	10,83 <sup>**</sup>
Torta (T)	9,81 <sup>**</sup>	5,94 <sup>*</sup>	30,99 <sup>**</sup>	4,31 <sup>*</sup>	28,03 <sup>**</sup>
F x D	0,18 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>
F x T	0,43 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
D x T	5,16 <sup>*</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,21 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
CV (%)	11,2	32,8	29,7	23,5	23,5

\*\*; \* 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 ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 20.** Atividade da fosfatase ácida na folha (APase), teor de P no caldo, acúmulo de P nos colmos (P colmo), na palhada (P palhada) e P total, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

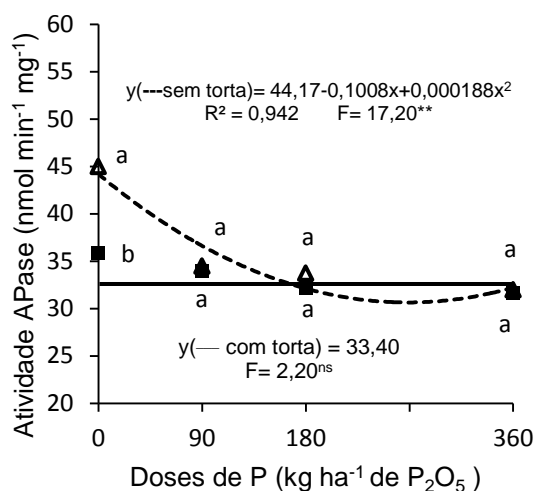
	APase $\text{nmol min}^{-1}$ $\text{mg}^{-1}$	P Caldo $\text{mg L}^{-1}$	P colmo -----	P palhada $\text{kg ha}^{-1}$	P total -----
<b>Fontes</b>					
Araxá	38,01	225,13	17,97	9,36	27,33
Bayóvar	38,49	240,66	19,16	9,21	28,37
Superfosfato Triplo	38,65	259,43	21,27	10,10	31,37
DMS	3,68	43,39	4,22	1,63	4,23
<b>Doses</b>					
0	45,15	184,05	9,78	8,07	17,85
90	40,63	233,47	19,98	8,88	28,86
180	34,99	244,87	22,52	10,35	32,87
360	32,77	304,58	25,58	10,93	36,51
<b>Torta de filtro</b>					
Presença	34,44 b	257,58 a	23,55a	11,10 a	34,64a
Ausência	42,33 a	225,91 b	15,38b	8,02 b	23,40b
DMS	2,49	29,44	2,86	1,10	2,87
----- Valor F -----					
Fontes (F)	0,10 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	2,89 <sup>ns</sup>
Doses (D)	20,40 <sup>**</sup>	11,46 <sup>**</sup>	23,19 <sup>**</sup>	5,75 <sup>**</sup>	32,13 <sup>**</sup>
Torta (T)	40,57 <sup>**</sup>	4,69 <sup>*</sup>	32,95 <sup>**</sup>	31,38 <sup>**</sup>	62,22 <sup>**</sup>
F x D	0,11 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
F x T	0,13 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	1,67 <sup>ns</sup>
D x T	1,89 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	5,78 <sup>**</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	6,74 <sup>**</sup>
F x D x T	0,07 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>
CV (%)	13,7	25,7	31,0	24,4	20,8

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> e <sup>ns</sup>: 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 aplicação da torta de filtro incrementou o P no caldo, P no colmo, P na palhada e P total, em ambos os solos (Tabelas 19 e 20). Os benefícios do uso da torta de filtro foram evidenciados por vários autores (BOKHTIAR; PAUL; ALAM, 2008; SANTOS et al., 2011), aumentando a absorção do P na cultura da cana-de-açúcar (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011). Verificou-se, ainda, efeito isolado para torta de filtro sobre a APase, com aumento da atividade enzimática na ausência do composto orgânico (Tabela 20).

No Argissolo, observou-se interação de doses de  $P_2O_5$  e torta de filtro sobre a atividade da APase foliar (Figura 11). Na presença da torta de filtro, não foi verificada diferença entre as doses de  $P_2O_5$ . Contudo, na ausência da torta de filtro, foi observado efeito quadrático, com diminuição da atividade enzimática, em função do aumento das doses deste nutriente. Somente quando o fósforo não foi aplicado, houve significância entre a presença e a ausência da torta de filtro, sendo que, na presença do composto orgânico, houve diminuição da atividade da APase em relação ao tratamento com ausência da aplicação do composto orgânico.

Este resultado é explicado pelo aporte de P proveniente da torta de filtro no solo, sendo que, no presente estudo, a aplicação do composto orgânico promoveu aumento médio de  $27,3 \text{ mg dm}^{-3}$  de P no solo em relação ao tratamento com a ausência deste composto orgânico, conforme pode ser observado na Figura 2a.

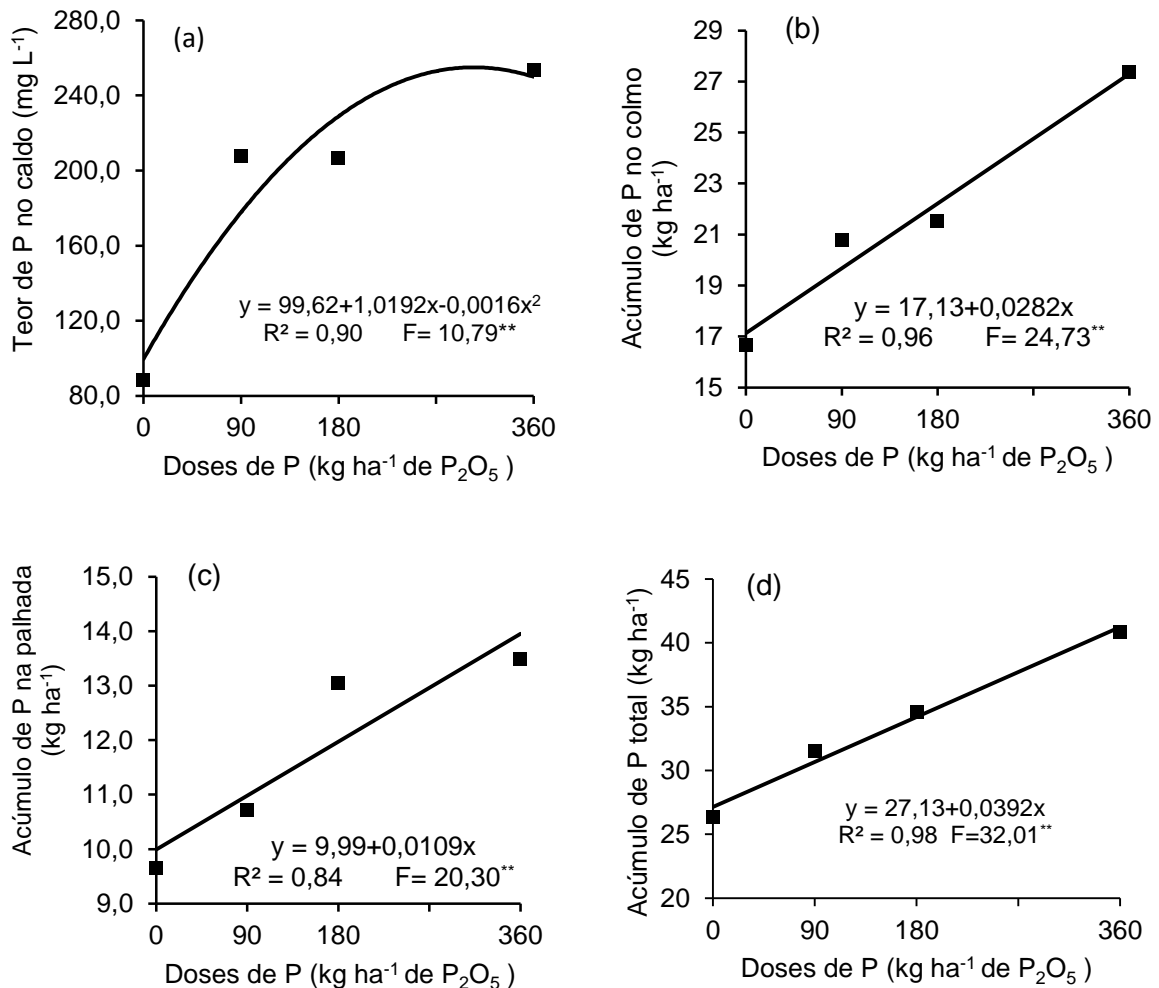


**Figura 11.** Efeito das doses de P com e sem torta de filtro (média de três fontes de fósforo) sobre a atividade da fosfatase ácida foliar (APase) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. \*\* e <sup>ns</sup>: significativo ao nível de 0,01% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). DMS: 3,70.

No Argissolo, com o teor de P no caldo, verificou-se efeito isolado da aplicação das doses de  $P_2O_5$ , com ajuste quadrático. O maior teor de P no caldo ( $261,9 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi obtido com a dose de  $318,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Figura 12a). O fato de a adubação fosfatada ter aumentado o teor de P no caldo, é importante para

obtenção de maior eficiência na parte industrial, na produção de açúcar, pois baixos teores deste nutriente no caldo da cana dificultam a floculação, comprometendo a decantação das impurezas, tornando-o turvo, refletindo na diminuição da qualidade da produção de açúcar (SANTOS et al., 2010).

O acúmulo de P no colmo, P na palhada e total apresentou ajuste linear crescente em função das doses de P (Figuras 12 b, c, d), respectivamente.

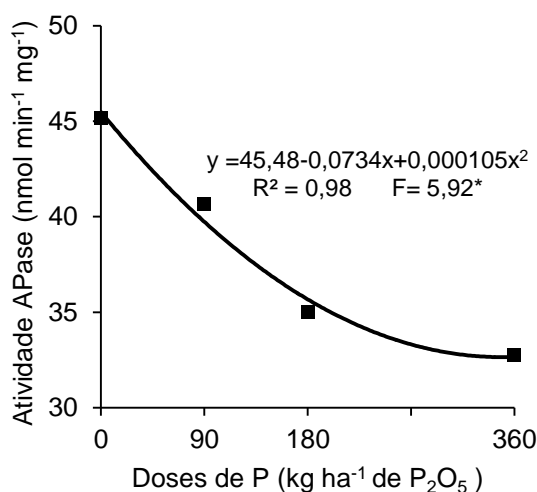


**Figura 12.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) sobre o teor de P no caldo (b), e acúmulo de P no colmo (c), na palhada (d), e de P total (e) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

\*\* : significativo ao nível de 0,01% de probabilidade.

No Latossolo, observou-se efeito isolado para doses de P com ajuste quadrático, diminuindo a atividade da APase, conforme o aumento das doses (Figura 13).

Estes resultados são semelhantes aos reportados por Caione et al. (2015), trabalhando com o mesmo solo e com os mesmos tratamentos em cana-planta, sendo verificado aumento na atividade da APase ácida foliar nas menores doses de  $P_2O_5$  no solo.

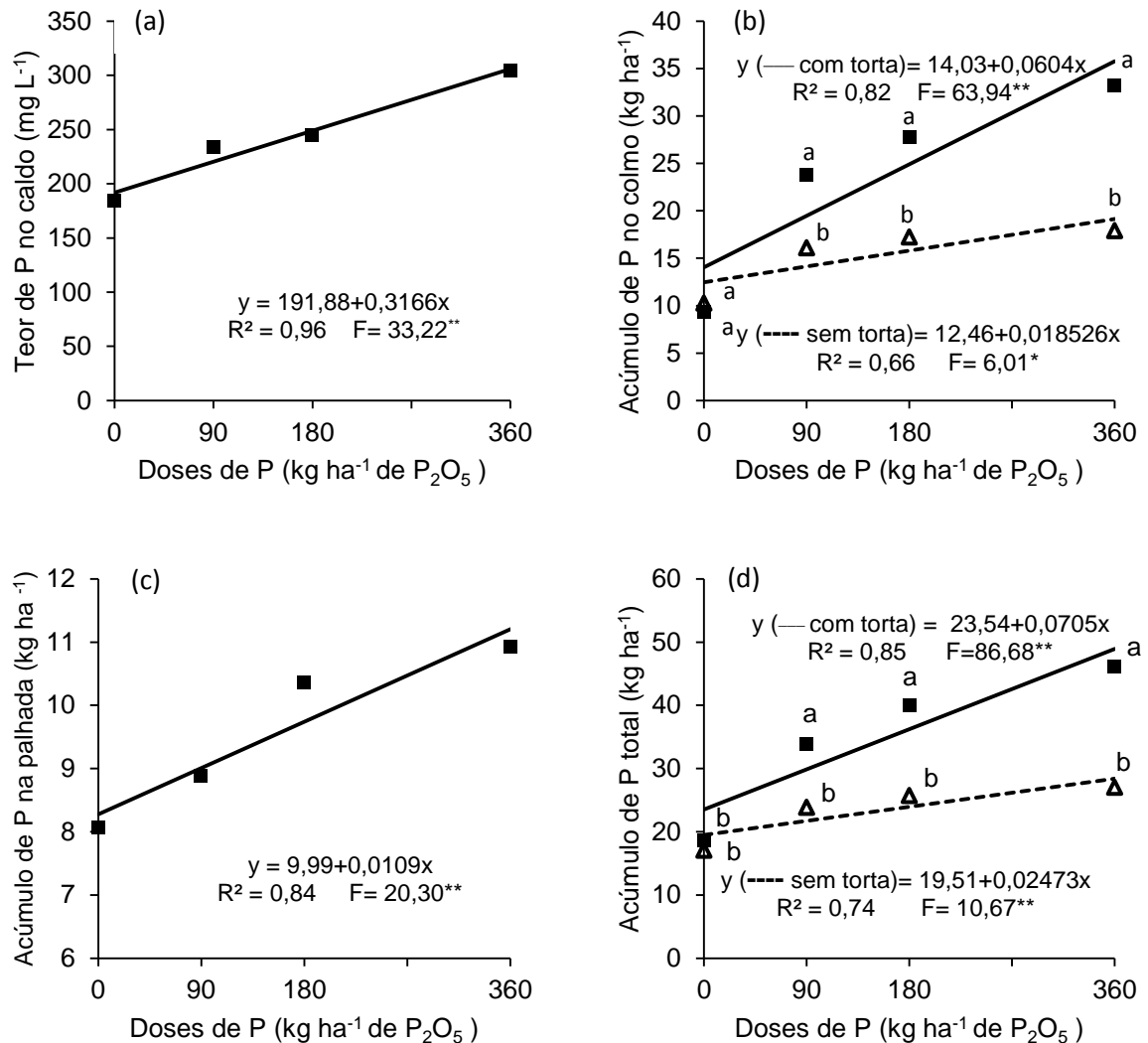


**Figura 13.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) na atividade da fosfatase ácida foliar (APase) da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. \*: significativo ao nível de 0,05% de probabilidade.

A atividade da APase foliar apresentou correlação negativa com o P foliar ( $r = -0,57^{**}$  e  $-0,33^{**}$ ) e com o P no solo ( $r = -0,59^{**}$  e  $-0,75^{**}$ ) no Argissolo e no Latossolo, respectivamente. Este resultado pode ser atribuído ao fato de que os baixos teores de P ocasionam mudanças bioquímicas na planta, como na atividade da APase, de forma que sua atividade possui correlação negativa com o acúmulo de P (CAIONE, 2013).

No Latossolo, verificou-se ajuste linear crescente para o teor de P no caldo e acúmulo de P na palhada (Figuras 14 a, c). Para o acúmulo de P no colmo e total, foi observada interação entre doses de  $P_2O_5$  e torta de filtro (Figuras 14 b, d). Para o acúmulo de P no colmo e de P total, exclusivamente quando não foi aplicado  $P_2O_5$ , não foi verificada diferença entre a presença e a ausência da torta de filtro. No

entanto, nas demais doses, foram observados maiores acúmulos de P com a aplicação da torta de filtro. No acúmulo de P total, foram obtidos aumentos de 42,2%, 55,5% e 70,4%, em função das doses de 90; 180 e 360 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> associadas à torta de filtro, respectivamente, em relação à ausência do composto orgânico.



**Figura 14.** Efeito das doses de P (média de fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) no teor de P no caldo (a), acúmulo de P na palhada (c) e doses de P com e sem torta de filtro sobre o acúmulo de P no colmo (b) e o acúmulo de P total (d) da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. \*\* e \*: significativo ao nível de 0,01 e 0,05% de probabilidade. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). DMS (P colmo): 5,73 e DMS (P total): 5,74.



### **6.5 Crescimento e produtividade de colmos e de palhada da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico**

Em ambos os solos, as fontes de P não promoveram alterações significativas sobre a altura de plantas, diâmetro de colmo e número de perfilhos, aos seis meses após a brotação e comprimento, diâmetro, número e produtividade de colmos e de palhada da cana-de-açúcar, aos doze meses após a brotação (Tabelas 21 e 22).

Outros trabalhos comprovaram que a adubação com fosfatos naturais na cultura da cana-de-açúcar possui sua eficiência semelhante à com fontes de P solúveis. Caione et al. (2015), avaliando os efeitos das mesmas fontes de P utilizadas neste estudo, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, sobre a produtividade da cana-de-açúcar, não verificaram diferenças entre as fontes testadas.

Neste sentido, Caione et al. (2011a) avaliaram os efeitos de fontes de P (farinha de ossos, fosfato natural de Arad e superfosfato triplo) em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e não encontraram diferenças entre as fontes testadas sobre as variáveis de crescimento e de produtividade.

Houve efeito da torta de filtro para a maioria das variáveis de crescimento e para a produtividade de colmos e de palhada da cana-de-açúcar, independentemente do solo, exceto para diâmetro de perfilhos e de colmos, em ambas as classes de solos, e altura de perfilhos no Argissolo (Tabelas 21 e 22).

Os benefícios do uso da torta de filtro sobre o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar foram evidenciados por vários autores (SANTOS et al., 2009; SANTOS et al., 2010; VASCONCELOS et al., 2014), sobretudo relacionado ao aumento da disponibilidade e da absorção do P para as plantas de cana-de-açúcar (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011; LIMA, 2011). Pois a torta de filtro promove diminuição da fixação do P no solo, melhorando a nutrição das plantas de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, incrementando o crescimento e a produtividade.

**Tabela 21.** Altura (AP), diâmetro (DP) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar, aos seis meses após a brotação, e comprimento (CC), diâmetro (DC), número (NC) e produtividade de colmos (TCH) e de palhada (PP), aos 12 meses após a brotação, em função de fontes e doses de P, na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	AP m	DP mm	NP	CC m	DC mm	NC	TCH ----- t ha <sup>-1</sup> -----	PP
<b>Fontes</b>								
Araxá	2,00	28,28	16,46	2,88	27,22	12	134,98	24,09
Bayóvar	2,02	27,88	16,33	2,84	26,70	12	134,17	23,98
Superfosfato Triplo	2,03	28,10	16,96	2,87	26,62	12	138,82	24,69
DMS	0,09	0,68	0,81	0,09	0,79	0,70	7,12	2,88
<b>Doses</b>								
0	2,00	27,85	15,33	2,79	26,20	11	128,74	20,35
90	2,06	28,34	16,61	2,88	27,11	12	131,98	24,61
180	2,05	28,05	16,94	2,86	26,90	13	138,54	26,24
360	1,96	28,09	17,44	2,93	27,16	13	144,69	25,81
<b>Torta de filtro</b>								
Presença	2,03	28,14	16,97 a	2,93 a	26,85	13 a	145,81a	25,32 a
Ausência	2,00	28,03	16,19 b	2,80 b	26,84	12 b	126,17b	23,18 b
DMS	0,06	0,46	0,55	0,06	0,54	0,48	4,83	1,95
----- Valor F -----								
Fontes (F)	0,18 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	2,00 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
Doses (D)	2,52 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	10,91 <sup>**</sup>	3,73 <sup>*</sup>	2,78 <sup>ns</sup>	11,25 <sup>**</sup>	8,72 <sup>**</sup>	7,73 <sup>**</sup>
Torta (T)	0,37 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	8,13 <sup>**</sup>	17,31 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	19,93 <sup>**</sup>	66,92 <sup>**</sup>	4,91 <sup>*</sup>
F x D	0,90 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
F x T	1,45 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
D x T	0,78 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>
F x D x T	1,00 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
CV (%)	6,5	3,5	7,0	4,5	4,2	8,1	7,5	16,9

\*\*; \* e <sup>ns</sup>: 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).

**Tabela 22.** Altura (AP), diâmetro (DP) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar, aos seis meses após a brotação, e comprimento (CC), diâmetro (DC), número (NC) e produtividade de colmos (TCH) e de palhada (PP), aos 12 meses após a brotação, em função de fontes e doses de P, na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

	AP m	DP mm	NP	CC m	DC mm	NC	TCH ----- t ha <sup>-1</sup> -----	PP
<b>Fontes</b>								
Araxá	1,39	28,03	16,95	2,47	28,03	12,57	119,39	24,44
Bayóvar	1,38	28,37	16,88	2,51	28,17	12,92	119,83	23,99
Superfosfato Triplo	1,39	28,41	16,17	2,46	28,43	13,17	126,41	26,97
DMS	0,08	0,89	0,85	0,13	0,99	1,21	8,20	3,65
<b>Doses</b>								
0	1,36	28,23	14,33	2,37	27,74	11,67	92,57	24,08
90	1,40	28,17	16,89	2,49	28,27	13,24	124,87	24,84
180	1,37	28,27	17,78	2,52	28,45	13,35	132,93	26,56
360	1,41	28,41	17,67	2,55	28,36	13,29	137,13	25,05
<b>Torta de filtro</b>								
Presença	1,44 a	28,27	17,22 a	2,57 a	28,50	13,44 a	128,64a	26,55 a
Ausência	1,33 b	28,26	16,11 b	2,39 b	27,91	12,33 b	115,11b	23,71 b
DMS	0,05	0,60	0,58	0,09	0,67	0,82	5,57	2,48
----- Valor F -----								
Fontes (F)	0,13 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	3,06 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	2,70 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>
Doses (D)	0,87 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	31,22 <sup>**</sup>	3,37 <sup>*</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	3,96 <sup>*</sup>	53,31 <sup>**</sup>	0,71 <sup>ns</sup>
Torta (T)	14,19 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	14,96 <sup>**</sup>	16,89 <sup>**</sup>	3,08 <sup>ns</sup>	7,27 <sup>**</sup>	23,93 <sup>**</sup>	5,39 <sup>*</sup>
F x D	0,69 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
F x T	0,32 <sup>ns</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
D x T	0,07 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,58 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
CV (%)	8,2	4,5	7,3	7,3	5,0	13,5	9,6	20,8

\*\*; \* e <sup>ns</sup>: 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).

Em ambos os solos, as aplicações de P influenciaram sobre o número de perfilhos, apresentando ajuste quadrático em função das doses de P. No Argissolo, o maior número de perfilhos obtido foi 18, com a dose de 327,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 15a), e no Latossolo, com a dose de 256 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, também foram obtidos 18 perfilhos (Figura 16a).

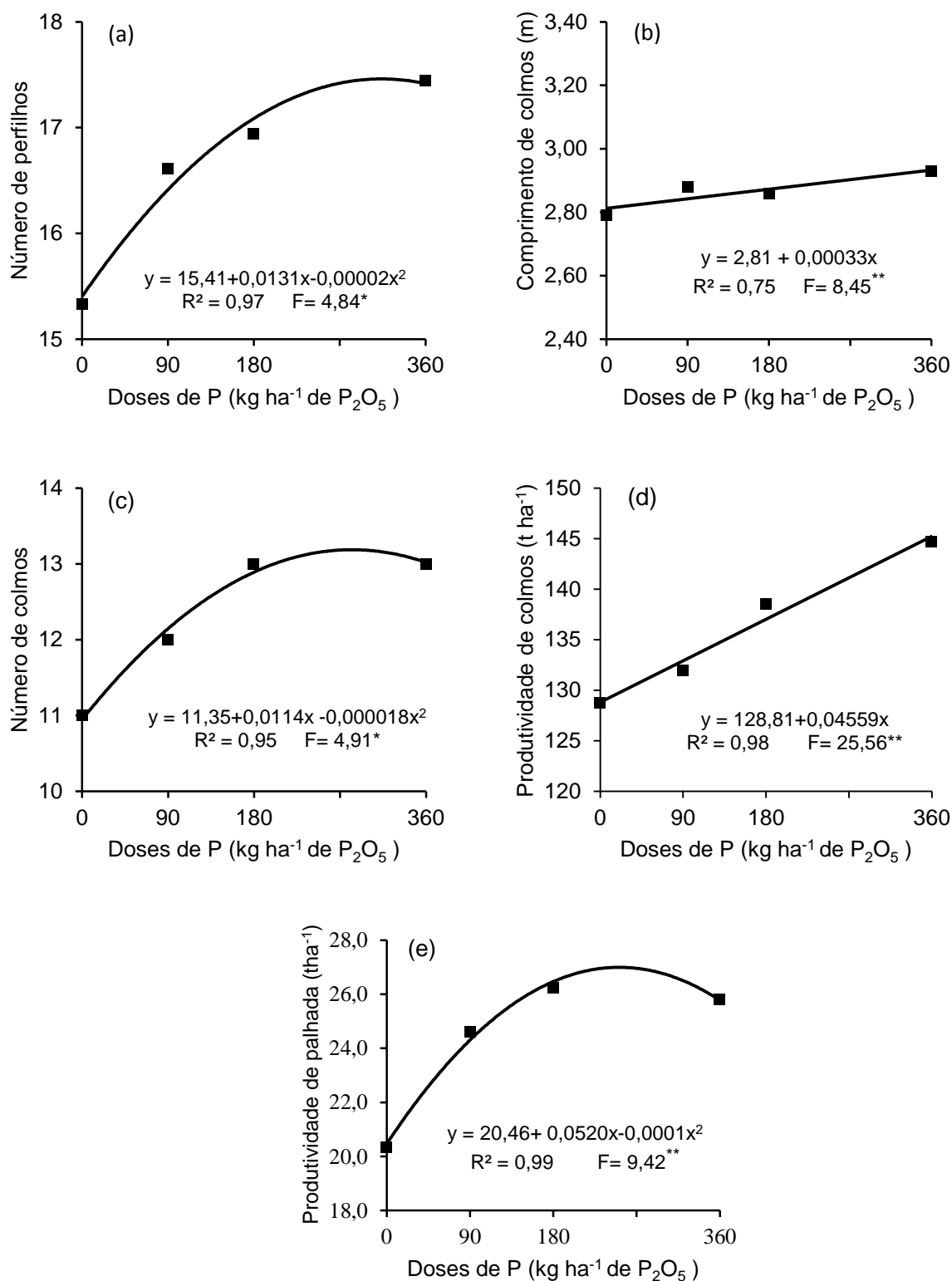
O comprimento de colmos apresentou ajuste linear crescente em função das doses de P no Argissolo (Figura 15b) e no Latossolo (Figura 16b).

O número de colmos, em ambos os solos, foi influenciado pela aplicação de P, sendo observado ajuste quadrático em função das doses de P, obtendo o maior número de colmos: 13 com a dose de 317 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no Argissolo (Figura 15c) e 14 com a dose de 263,3 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no Latossolo (Figura 16c).

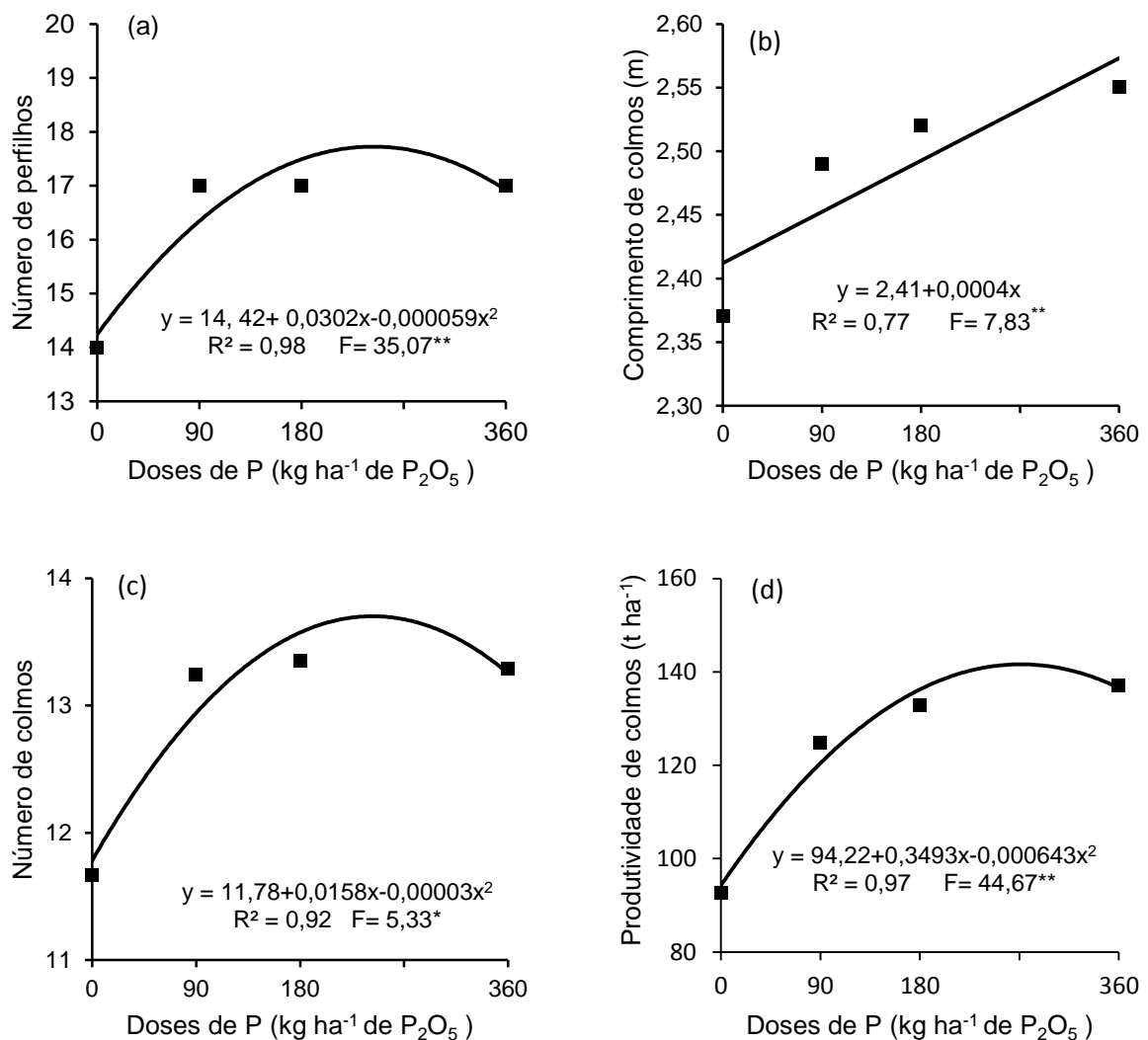
Do mesmo modo, Caione et al. (2011a), avaliando os efeitos da aplicação de P em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, verificaram que a adubação fosfatada promoveu maior altura de plantas e número de perfilhos de cana-de-açúcar. A adubação fosfatada é fundamental para o crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar, pois o P participa da atividade fotossintética, da síntese e do armazenamento de açúcares, e do crescimento radicular (DEVI et al., 2012). Desse modo, a aplicação de P na cultura da cana-de-açúcar promove aumento no número de internódios (EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004) e consequentemente, no comprimento de colmos.

Associado a isso, a adubação fosfatada aumenta o número de perfilhos (DEVI et al., 2012). Esse aumento do perfilhamento da cana-de-açúcar, em função da aplicação da adubação fosfatada, tem sido relatado como um dos fatores de maior influência para o aumento da produtividade desta cultura (BOKHTIAR; PAUL; ALAM, 2008; CAIONE et al., 2011a; CAIONE, 2013; VASCONCELOS et al., 2014).

Conforme pode ser observado na presente pesquisa, as doses de P influenciaram na produtividade de colmos. No Argissolo, observou-se ajuste linear (Figura 15d) e, no Latossolo, verificou-se ajuste quadrático (Figura 16d), obtendo a maior produtividade: 141,7 t ha<sup>-1</sup> com a dose de 271,6 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo observada uma correlação positiva do perfilhamento com a produtividade de colmos ( $r = 0,40^{**}$  e  $0,70^{**}$ ), no Argissolo e no Latossolo, respectivamente.



**Figura 15.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) no número de perfilhos (a) comprimento (b), número (c) e produtividade (d) de colmos e de palhada (e) da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. \*\*, \*: significativo ao nível de 0,01 e 0,05% de probabilidade.



**Figura 16.** Efeito das doses de P (média de três fontes de fósforo, com e sem torta de filtro) no número de perfilhos (a) comprimento (b), número (c) e produtividade (d) de colmos da cana-de-açúcar cultivada em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. \*\* e \*: significativo ao nível de 0,01 e 0,05% de probabilidade.

A produtividade de palhada apresentou ajuste quadrático em função das doses de P no Argissolo (Figura 15e), obtendo a maior produtividade: 27,2 t ha<sup>-1</sup> com a dose de 260 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Pode-se inferir que o efeito das doses de P sobre as variáveis de crescimento e produtividade, está associado ao aumento de P disponível no solo (Figuras 2 e 3), com melhoria no estado nutricional da planta, proporcionando maiores teores de P foliar (Figuras 7 e 8), refletindo em maior absorção do nutriente, conforme verificado

no acúmulo de P (Figuras 12d; 14d), induzindo incremento na produtividade de colmos, no Argissolo e no Latossolo, respectivamente. Este fato pode ser constatado pela correlação positiva do teor de P no solo com o teor de P foliar ( $r = 0,41^{**}$  e  $0,33^{**}$ ), acúmulo de P ( $r = 0,58^{**}$  e  $0,61^{**}$ ) e produtividade de colmos ( $r = 0,51^{**}$  e  $0,72^{**}$ ), no Argissolo e no Latossolo, respectivamente.

Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004; DIAZ et al., 2010), em soqueiras de cana-de-açúcar. Avaliando os efeitos das mesmas doses e fontes de P, Vasconcelos et al. (2014) e Caione et al. (2015) obtiveram aumento nos teores de P no solo e na planta e, conseqüentemente, maior crescimento e produtividade de colmos em função do aumento das doses de P no solo.

Neste sentido, diversos trabalhos evidenciam os benefícios da aplicação de P sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Há autores que relataram aumentos na média da produtividade da cana-de-açúcar em 77% com a aplicação de  $128,8 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (SANTOS et al., 2010), 64% com a aplicação de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (TSADO et al., 2013), 24% com a aplicação de  $360 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (VASCONCELOS et al., 2014) e 28% (SANTOS et al., 2009), 27% (CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013), 46% (CAIONE et al., 2011a) com aplicação de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , todos em relação à ausência da aplicação de P.

## **6.6 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico e em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico**

Embora o P seja um elemento de grande importância para obter boa qualidade da matéria-prima destinada às indústrias sucroalcooleiras (SANTOS et al., 2010), em ambos os solos, não foram verificados efeitos dos tratamentos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (Tabelas 23 e 24).

Outros trabalhos avaliando os efeitos da aplicação de P, sobre a qualidade da cana-de-açúcar, não verificaram melhoria sobre Pol e ATR (KORNDORFER; MELO, 2009), Brix e Pol (FRAVET et al., 2010), Brix e Pureza (RAKKIYAPPAN et al., 2001) e Pureza, Brix e Pol (TSADO et al., 2013).

De modo contrário, Santos et al. (2011), avaliando os efeitos da adubação fosfatada em ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sobre a qualidade tecnológica

da cana-de-açúcar (variedade RB867515), verificaram que a aplicação de P promoveu melhoria na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, por meio do aumento nos teores de sólidos solúveis, de açúcares redutores totais e de sacarose nos colmos, refletindo no aumento da produtividade de açúcar.

**Tabela 23.** Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, aos doze meses após a brotação, em função de fontes e doses de P (kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), na presença e na ausência de torta de filtro, em ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

	Brix	Pol	Pureza	Fibra	ATR
	----- % -----				kg t <sup>-1</sup>
Fontes					
Araxá	16,67	14,04	84,07	11,53	121,33
Bayóvar	16,67	15,82	84,28	11,92	121,04
Superfosfato Triplo	16,84	14,27	84,73	11,70	122,74
DMS	0,39	3,55	0,89	0,66	3,42
Doses					
0	16,67	13,99	83,90	11,38	121,32
90	16,70	14,11	84,43	12,03	121,46
180	16,87	16,70	84,90	11,59	123,46
360	16,67	14,05	84,22	11,87	120,58
Torta de filtro					
Presença	16,66	14,03	84,19	11,88	120,85
Ausência	16,79	15,40	84,53	11,56	122,56
DMS	0,27	2,41	0,60	0,44	2,32
	----- Valor F -----				
Fontes (F)	0,71 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
Doses (D)	0,51 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	1,72 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>
Torta (T)	1,09 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	2,19 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>
F x D	1,15 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>
F x T	0,60 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>
D x T	0,72 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,44 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,4	34,5	1,5	8,0	4,0

<sup>ns</sup>: não significativo pelo teste F.

Embora a adubação possa ter alguma influência sobre a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, esta característica é mais relacionada ao material genético (RAKKIYAPPAN et al., 2001).

Neste sentido, Oliveira et al. (2012), avaliando as características tecnológicas de duas variedades de cana-de-açúcar (RB85-5453 e SP80-1816) submetidas a diferentes níveis de adubação, verificaram diferenças entre as variedades, sendo a RB85-5453 a que melhor atendeu às exigências de qualidade para produção



sucroalcooleira. Caione (2013), avaliando o efeito de fontes e doses de P em cana-planta, com o mesmo material genético do presente estudo, CTC 15, também não verificou efeitos dos tratamentos sobre a qualidade da cana-de-açúcar.

**Tabela 24.** Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, aos doze meses após a brotação, em função de fontes e doses de P ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), na presença e na ausência de torta de filtro, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

	Brix	Pol	Pureza	Fibra	ATR
	----- % -----				$\text{kg t}^{-1}$
Fontes					
Araxá	16,11	13,39	83,64	12,22	116,50
Bayóvar	16,02	13,30	83,56	12,19	117,67
Superfosfato Triplo	16,29	13,53	83,85	12,22	117,66
DMS	0,46	0,45	1,33	0,47	4,03
Doses					
0	16,38	13,60	88,67	12,19	117,63
90	15,99	13,23	83,50	12,16	117,74
180	16,14	13,37	84,25	12,29	116,34
360	16,06	13,43	83,31	12,18	117,41
Torta de filtro					
Presença	16,18	13,31	83,70	12,23	117,72
Ausência	16,11	13,51	83,67	12,18	116,84
DMS	0,31	0,31	0,90	0,32	2,74
	----- Valor F -----				
Fontes (F)	1,05 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
Doses (D)	1,24 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
Torta (T)	0,21 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
F x D	0,28 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
F x T	0,04 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
D x T	0,05 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
F x D x T	0,16 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,1	4,8	2,3	5,5	4,9

<sup>ns</sup>: não significativo pelo teste F.

## 7 CONCLUSÕES

A aplicação de fósforo, independentemente da solubilidade do fertilizante, apresenta efeito residual na primeira soqueira da cana-de-açúcar, proporcionando aumento nos teores de P no solo, na nutrição e na produtividade desta cultura cultivada em Argissolo e Latossolo.

A aplicação dos fosfatos naturais Bayóvar e Araxá, e da torta de filtro aumenta a atividade microbiológica do Argissolo e do Latossolo.

A atividade da fosfatase ácida no solo é diminuída com as doses de P.

As duas recomendações de diagnose foliar apresentam resultados semelhantes.

A atividade da fosfatase ácida foliar demonstrou ser um método eficiente de diagnóstico nutricional de fósforo em cana-de-açúcar.

A aplicação de fontes e doses de P, e de torta de filtro não promove melhoria na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

## 8 REFERÊNCIAS

AGUILA, I. D.; GONZÁLEZ, L. C.; DÍAZ, M. S.; VAZQUEZ, L. T.; CAMPOS, C. N. S.; PRADO, R. M.; SELVA, E. P.; MODA, L. R. Fuentes de fósforo, cachaza y microorganismos sobre las variables morfométricas en plántulas de tomate. **Centro Agrícola**, Santa Clara, v. 43, n. 3, p. 22-29, 2016.

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. 1.004-1.013, 2011.

AZZIZ, G.; BAJSA, N.; HAGHJOU, T.; TAULÉ, T.; VALVERDE, A.; IGUAL, J. M.; ARIAS, A. Abundance, diversity and prospecting of culturable phosphate solubilizing bacteria on soils under crop-pasture rotations in a no-tillage regime in Uruguay. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 61, n.1, p. 320–326, 2012.

BABUJIA, L. C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BROOKES, P. C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 12, p. 2.174-2.181, 2010.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 2, p. 137–145, 2004.

BARGAZ, A.; FAGHIRE, M.; ABDI, N.; FARISSI, M.; SIFI, B.; DREVON, J. J.; IKBAL, I. M.; GHOULAM, C. Low soil phosphorus availability increases acid phosphatases activities and affects P partitioning in nodules, seeds and rhizosphere of *Phaseolus vulgaris*. **Agriculture**, Basel, v. 2, n. 2, p. 139–153, 2012.

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 Agrônômico, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

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. 1.832-1.843, 2008.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. I-fracionamento sequencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 935-944, 2005.

BUSATO, J. G.; ZANDONADI, D. B.; DOBBSS, L. B.; FAÇANHA, A. R.; CANELLAS, L. P. Humic substances isolated from residues of sugar cane industry as root growth promoter. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 206-212, 2010.

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. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 189-196, 2013.

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

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

CAIONE, G.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; MODA, L. R.; VASCONCELOS, R. L.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Response of Sugarcane in a Red Ultisol to Phosphorus Rates, Phosphorus Sources and Filter Cake. **The Scientific World Journal**, New York, v. 2015, n. 1, p. 1-10, 2015.

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 Agroambientais**, Alta Floresta, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2011b.

CAMARGO, O. A.; BERTON, R. S.; GERALDI, R. N.; VALADARES, J. M. A. S. Alterações de características químicas de um Latossolo Roxo distrófico incubado com resíduos da indústria álcool-açucareira. **Bragantia**, Campinas, v. 43, n. 1, p. 125–139, 1984.

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.

CAMPOS, C. N. S.; MINGOTTE, F. L. C.; PRADO, R. M.; WADT, P. G. S. Introdução à nutrição e adubação de plantas. In: PRADO, R. M.; WADT, P. G. S. (Ed.). **Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras**. Jaboticabal: FCAV/CAPEL, 2014. p. 9-26.

CAMPOS, C. N. S.; PRADO, R. M.; GONZÁLEZ, L. C.; JIMÉNEZ, M. A.; MODA, L. R. Fuentes de fosfato asociadas a la cachaza y el biofertilizante sobre los microorganismos solubilizadores de fósforo y su contenido en el suelo. **Cultivos Tropicales**, San José de las Lajas, v. 37, n. 1, p. 22-27, 2016.

CASTILLO, O. S.; PRADO, R. M.; GONZÁLEZ, L. C.; NAHAS, E.; CAMPOS, C. N. S.; SILVA, G. P.; ASSIS, L. C. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum spp.*). **Revista de la Facultad de las Ciencias Agrarias-UNCUYO**, Mendoza, v. 47, n. 1, p. 33-42, 2015.

CASIDA, L. E.; KLEIN, D. A.; SANTORO, T. Soil dehydrogenase activity. **Soil Science**, Baltimore, v. 98, n. 6, p. 371-376, 1964.

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

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar. Brasília-DF, ago. 2014. v. 1, safra 2014/2015, n. 2, segundo levantamento. 18 p. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_08\\_28\\_08\\_52\\_35\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_2o\\_lev\\_-\\_2014-15.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_08_28_08_52_35_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_2014-15.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2016.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar. Brasília-DF, dez. 2015. v. 2, safra 2015/2016, n. 3, terceiro levantamento. 65 p. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_12\\_17\\_09\\_03\\_29\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_3o\\_lev\\_-\\_15-16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_17_09_03_29_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_15-16.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2016.

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](http://www.orplana.com.br/manual_2006.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2013.

CTC (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA). **Variedades CTC**. [Piracicaba, 2012 ?]. 34 p. Disponível em: <[www.ctcanavieira.com.br/downloads/variedades2012\\_FINAL.pdf](http://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.

DÍAZ, B.; BARRETO, B.; CAIRO, P.; PINEDA, E.; MAS, R.; ACOSTA, F.; BECERRA, E.; CLAVELO, B.; QUIÑONES, R. La aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales naturales en el cultivo de la caña de azúcar (parte II): efecto a largo plazo sobre el rendimiento y la calidad del suelo. **Centro Azúcar**, Santa Clara, v. 37, n. 1, p. 35-42, 2010.

DICK, F. C.; SANTOS, A. L. A.; MEYER-FERNANDES, J. R. Inorganic phosphate as an important regulator of phosphatases. **Enzyme Research**, New York, v. 2011, n. 1, p. 1-7, 2011.

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.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de micro-ondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 6, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1.039-1.042, 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.

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618–624, 2010.

GONZÁLEZ, L. C.; JIMÉNEZ, M. A.; CAMPOS, C. N. S.; ESPINOSA, R. R.; ROMERO, I. F.; SELVA, E. P.; PRADO, R. M.; ROMERO, M. Efecto de la adición de cachaza, roca fosfórica y biofertilizantes en el suelo sobre el contenido de fósforo y el desarrollo de plántulas de caña de azúcar. **Cultivos Tropicales**, San José de Las Lajas, v. 37, n. 4, p. 145-151, 2016.

GUPTA, D. K.; CHATTERJEE, S.; DATTA, S.; VEER, V.; WALTHER, C. Role of phosphate fertilizers in heavy metal uptake and detoxification of toxic metals. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 108, p. 134–144, 2014.

HARTREE, E. E. Determination of protein: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. **Analytical Biochemistry**, Philadelphia, v. 48, n. 2, p. 422-427, 1972.

HERNÁNDEZ, A. R.; PRADO, R. M.; GONZÁLEZ, L. C.; CAIONE, G.; MODA, L. R.; ASSIS, L. C.; ALMEIDA, H. J. Phosphorus sources enriched with filter cake and microorganisms in the soil microbiota: Phosphorus absorption and sugar cane dry matter production. **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago, v. 42, n. 2, p. 295-303, 2015.

INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA). Dados meteorológicos, disponível no banco de dados, 2014. Brasília-DF.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.

KHWAIRAKPAM, M.; BHARGAVA, R. Bioconversion of filter mud using vermicomposting employing two exotic and one local earth worm species. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 23, p. 5.846–5.852, 2009.

KITAYAMA, K. The activities of soil and root acid phosphatase in the nine tropical rain forests that differ in phosphorus availability on Mount Kinabalu, Borneo. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 367, n. 1, p. 215-224, 2013.

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.

KORNDORFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 391-396, 1999.

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.

LIMA, C. C. Disponibilidade de fósforo para a cana-de-açúcar em solo tratado com compostos orgânicos ricos em silício. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1.222–1.227, 2011.

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

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

MODA, L. R. **Fontes e doses de fósforo na presença e ausência de composto orgânico no estado nutricional e na produtividade da cana-de-açúcar**. 2015. 138 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2015.

MODA, L. R.; PRADO, R. M.; GONZÁLES, L. C.; HERNÁNDEZ, A. R.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S. Solubilización de fuentes de fósforo asociadas a un compuesto orgánico enriquecido con biofertilizantes. **Agrociencia**, Montecillo, v. 48, n. 5, p. 489-500, 2014.

MELERO, S.; LÓPEZ-GARRIDO, R.; MURILLO, J. M.; MORENO, F. Conservation tillage: Short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 2, p. 292-298, 2009.

MOURAD, N. M.; SHARSHAR, T.; ELNIMR, T.; MOUSA, M. A. Radioactivity and fluoride contamination derived from a phosphate fertilizer plant in Egypt. **Applied Radiation and Isotopes**, Kidlington, v. 67, n. 7-8, p. 1.259–1.268, 2009.

NEOGI, S.; BHATTACHARYYA, P.; ROY, K. S.; PANDA, B. B.; NAYAK, A. K.; RAO, K. S.; MANNA, M. C. Soil respiration, labile carbon pools, and enzyme activities as affected by tillage practices in a tropical rice–maize–cowpea cropping system. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 186, n. 7, p. 4.223-4.236, 2014.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 6, p. 832-840, 2012.

PIZAURO, J. M.; CURTI, C.; CIANCAGLINI, P.; LEONE, F. A. Kinetic properties of triton X-100 solubilized bone matrix-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.

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

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.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

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 Agrônômico, 1997. p. 233-239. (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.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; NUNES, R. S.; KORNDORFER, G. H. **Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no cerrado**. Planaltina: EMBRAPA, 2015. 12 p. (Circular Técnica).

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, Essex, v. 94, n. 2, p. 159-167, 2004.



REZENDE, M. L.; RICHARDSON, J. W. Economic feasibility of sugar and ethanol production in Brazil under alternative future prices outlook. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 138, n. 1, p. 77-87, 2015.

ROSSI, C.; MONTEIRO, F. A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional nos capins braquiária e colonião. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1.101-1.110, 1999.

SANTANA, C. T. C.; SANTI, A.; DALLACORT, R.; SANTOS, M. L.; MENEZES, C. B. Desempenho de cultivares de alface americana em resposta a diferentes doses de torta de filtro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 22–29, 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.

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

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 1, n. 1, p. 301-307, 1969.

TAKEDA, M.; NAKAMOTO, T.; MIYAZAWA, K.; MURAYAMA, T.; OKADA, H. Phosphorus availability and soil biological activity in Andosol under compost application and winter cover cropping. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 42, n. 2, p. 86-95, 2009.

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

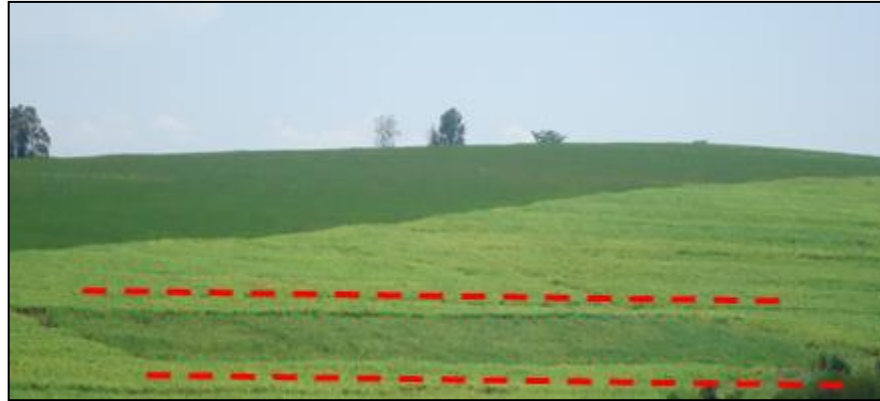
sugarcane in Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria. **Agriculture Science Developments**, Dadaab, v. 2, n. 3, p. 25-27, 2013.

VASCONCELOS, R. L. **Fontes de fósforo e torta de filtro sobre o estado nutricional e produtividade da cana-planta**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2013.

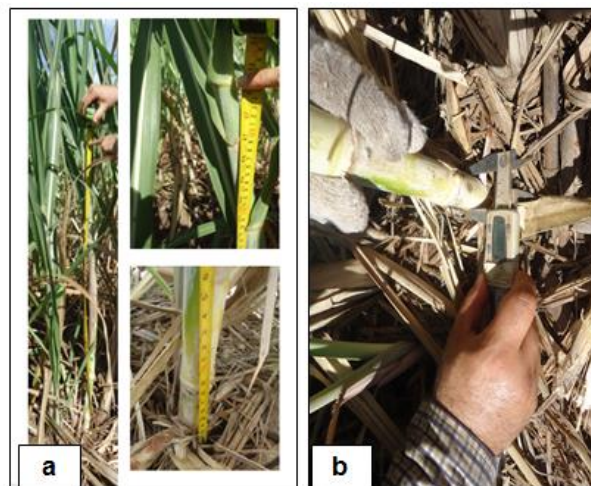
VASCONCELOS, R. L.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; CAIONE, G.; ALMEIDA-JÚNIOR, H.; MODA, L. R.; MELO, F. T.; MARTA, C. C. D. Sources of phosphorus with sugar cane filter cake on the nutritional status and productivity of sugar cane (*Saccharum officinarum* L) cultivated in red-yellow latosoil. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 8, n. 11, p. 1.467-1.474, 2014.

YANG, S.; LIU, J.; WU, J.; TAN, H.; LI, Y. Effects of vinasse and press mud application on the biological properties of soils and productivity of sugarcane. **Sugar Tech**, Heidelberg, v. 15, n. 2, p. 152–158, 2013.

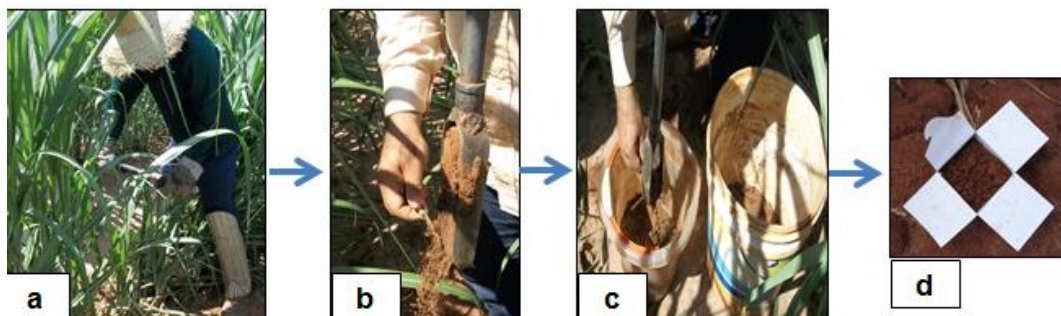
## APÊNDICES



**Figura 1.** Área experimental pertencente à usina Catanduva S/A, Grupo Virgolino de Oliveira. Catanduva-SP, 2014.



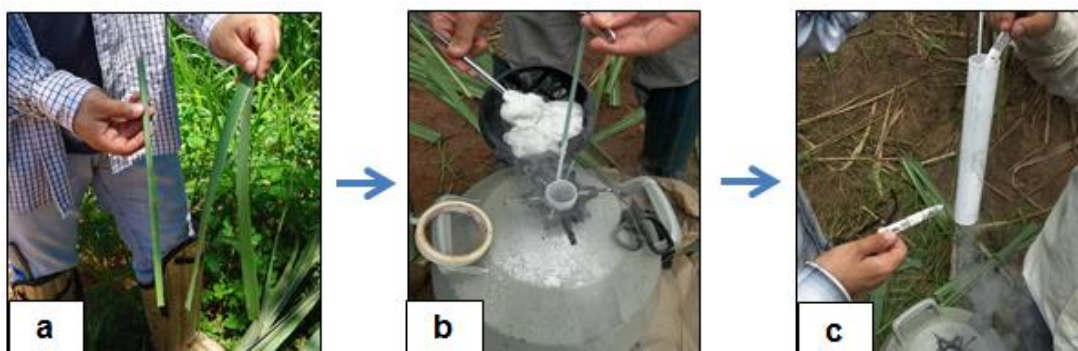
**Figura 2.** Determinação da altura das plantas de cana-de-açúcar, do nível do solo até à base da folha +1, primeira folha completamente desenvolvida com a aurícula visível (a) e determinação do diâmetro, feita na metade do primeiro entrenó (b), Catanduva-SP, 2014.



**Figura 3.** Coleta de solo na linha do plantio, utilizando trado tipo holandês (a); procedimento de limpeza, para evitar a contaminação da amostra após a coleta (b); preparo da amostra composta 0-0,20 m e 0,20-0,40 m (c), e amostra pronta para ser enviada ao laboratório (d). Catanduva-SP, 2014.



**Figura 4.** Coleta de folhas para diagnose foliar, folha +1 (a); preparo da amostra, descarte das extremidades (b); considerando apenas o terço médio das folhas (c); retirada da nervura central do terço médio das folhas (d). Catanduva-SP, 2014.



**Figura 5.** Coleta de folhas para análise enzimática, preparo da amostra, descarte das extremidades (a); botijão contendo nitrogênio líquido para o congelamento imediato da amostra (b); amostra sendo preparada para o congelamento (c). Catanduva-SP, 2014.



**Figura 6.** Determinação da produção de colmos, com auxílio de balança digital. Catanduva-SP, 2014.





**Figura 7.** Determinação da produção de palhada (a), e amostra de palhada, pronta para ser encaminhada ao laboratório (b). Catanduva-SP, 2014.



**Figura 8.** Amostra de colmos para extração do caldo e bagaço (a); desintegração do colmo (b); amostragem do material desintegrado (c); prensa hidráulica para extração do caldo e bagaço (d). Catanduva-SP, 2014.