

**ATIVIDADE MICROBIANA E FÓSFORO DISPONÍVEL NO SOLO COM CANA  
SOCA APÓS ADUBAÇÃO FOSFATADA E TORTA DE FILTRO NA CANA  
PLANTA**

**ANA CECÍLIA TEIXEIRA LIMA CREMONEZI**

**ATIVIDADE MICROBIANA E FÓSFORO DISPONÍVEL NO SOLO COM CANA  
SOCA APÓS ADUBAÇÃO FOSFATADA E TORTA DE FILTRO NA CANA  
PLANTA**

**ANA CECÍLIA TEIXEIRA LIMA CREMONEZI**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Fábio Fernando de Araújo

633.61  
C915a

Cremonesi, Ana Cecília Teixeira Lima.

Atividade microbiana e fósforo disponível no solo com cana soca após adubação fosfatada e torta de filtro na cana planta / Ana Cecília Teixeira Lima Cremonesi – Presidente Prudente, 2014.  
(50)f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste,  
Presidente Prudente, SP, 2014.

Bibliografia.

Orientador: Fábio Fernando de Araujo

1. *Saccharum spp.* 2. Fertilidade do solo. 3.  
Nutrição mineral. 4. Resíduos. I. Título.

**ANA CECÍLIA TEIXEIRA LIMA CREMONEZI**

**ATIVIDADE MICROBIANA E FÓSFORO DISPONÍVEL NO SOLO COM CANA  
SOCA APÓS ADUBAÇÃO FOSFATADA E TORTA DE FILTRO NA CANA  
PLANTA**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Presidente Prudente, 28 de outubro de 2014

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Fábio Fernando de Araujo  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente-SP

---

Prof. Dr. Diego Henriques dos Santos  
Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo  
Presidente Prudente-SP

---

Prof. Dr. Edemar Moro  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente-SP

## **DEDICATÓRIA**

*A meu marido Marcelo Luis Guazi Cremonezi que sempre me incentivou e abriu mão de alguns sonhos para que eu realizasse os meus. E a minha amada filha Beatriz.*

*Aos meus pais Erasmo Ferreira Lima e Maria Valéria Teixeira Lima que por tanto amor são responsáveis também pelo meu sucesso e apoio a todos os momentos da minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Primeiramente a Deus, pela presença e proteção constante em minha vida, por fazer superar as minhas próprias limitações e procurar dentro da minha própria alma um jeito de ser feliz. Por iluminar todos os meus passos e sustentar toda a minha caminhada.*

*A minha família, por estarem sempre ao meu lado me dando muito amor, apoio e incentivo constante.*

*Ao meu orientador, Professor Dr. Fábio Fernando de Araujo, pelos conhecimentos passados, comprometimento e empenho.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade do Oeste Paulista, pela oportunidade dada para a titulação de Mestre.*

*Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UNOESTE, pelo conhecimento transmitido.*

*Aos funcionários da UNOESTE que ajudaram na realização das análises e condução do experimento com muita dedicação.*

*Aos alunos da graduação que ajudaram na condução do experimento.*

## RESUMO

### **Atividade microbiana e fósforo disponível no solo com cana soca após adubação fosfatada e torta de filtro na cana planta**

A adubação fosfatada na cana-de-açúcar tem merecido muita atenção da pesquisa nos últimos anos. O uso de diferentes fontes de fosfatos com variação de origem e de solubilidade tem demandado estudos para comprovação da eficiência no fornecimento de fósforo com redução de perdas ambientais e econômicas. A adubação com a torta de filtro apresenta-se como prática rotineira nas usinas e com ganhos na produtividade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar fontes de fosfatos (superfosfato simples e fosfato reativo) na adubação da cana-planta e seus efeitos residuais na produção de cana-soca, bem como, avaliar o efeito da torta de filtro associado com essas fontes de fosfatos. Para isto, foram quantificados parâmetros biológicos relacionados ao ciclo do P no solo e componentes de produção da cana-de-açúcar. O experimento foi instalado em março de 2011 em Presidente Prudente-SP. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas pela aplicação superfosfato simples (SS) e/ou Fosfato Reativo de Arad (FRA) com diferentes proporções entre SS com FRA. As subparcelas foram compostas pela presença ou ausência de torta de filtro (TF) no sulco de plantio. Não houve alteração do crescimento e rendimento da cultura quando se empregou as diferentes associações de adubos fosfatados, com ou sem torta, contudo o tratamento apenas com fosfato solúvel apresentou queda de rendimento da cana soca quando se comparou com o rendimento da cana planta. A adubação fosfatada apenas com fonte solúvel apresentou maiores teores de fósforo no solo e na biomassa microbiana. A aplicação de torta de filtro foi benéfica para o aumento da biomassa, fósforo microbiano e fósforo solúvel no solo, como também manteve o rendimento da cana semelhante nos dois anos avaliados.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.*, fertilidade do solo, nutrição mineral, resíduos.

## ABSTRACT

### **Microbial activity and available phosphorus in soil after ratoon cane phosphate fertilizer and filter cake on sugarcane plant**

Phosphorus fertilization on sugarcane has received much research attention in recent years. The use of different phosphate sources with varying source and solubility has required studies to prove the efficiency of phosphorus supply to reduce environmental and economic losses. The organic fertilization with the filter cake is presented as routine practice in the mills, partially replacing phosphorus with gains in productivity. This study aimed to evaluate sources of phosphates (superphosphate and reactive phosphate) fertilizer in the sugarcane plant and its residual effects in the production of ratoon, as well as to evaluate the effect of the filter cake associated with these sources of phosphates. For were quantified this biological parameters related to the P cycle in soil and yield components of sugarcane. O experiment was installed in March 2011 in Presidente Prudente-SP. The experimental design was a randomized complete block design with four replications in a split plot design, with portions formed by superphosphate application (SS) Reactive Phosphate Arad with different proportions between SS with FRA. The subplots consisted of the presence or absence of filter cake in the furrow. There was no change in the growth and yield of the crop when it employed the different associations of phosphate fertilizers, with or without filter cake, yet treatment with soluble phosphate decreased ratoon cane yield when compared with the yield of the sugarcane plant. The only soluble phosphate fertilizer source had higher levels of phosphorus in soil and microbial biomass. The filter cake application was beneficial to increase the biomass, microbial, phosphorus and the soluble phosphorus in the soil, but also similarly maintained the performance of cane two years evaluated.

**Keywords:** *Saccharum spp.*, soil fertility, mineral nutrition, residue.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise química do solo no local do experimento antes do plantio da cana-de-açúcar.....	25
Tabela 2	Análise química da torta de filtro antes de aplicar no solo.....	25
Tabela 3	Valores de F calculados pela análise de variância das avaliações microbiológicas.....	30
Tabela 4	Teores de C mic e P mic em função da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) associados à introdução de torta de filtro. Médias de três coletas efetuadas em 2012 e 2013.....	31
Tabela 5	Valores médios de biomassa microbiana no solo sob cultivo de cana soca em 2 períodos (2012 e 2013) após a aplicação de diferentes proporções de Super fosfato simples (SS) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) associados a introdução de torta de filtro.....	32
Tabela 6	Teores de P mic em função dos desdobramentos da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) com ou sem torta de filtro. Médias de três coletas efetuadas em 2012 e 2013.....	33
Tabela 7	Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de P solúvel no solo.....	34
Tabela 8	Teores médios de P solúvel no solo em função da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) associados a introdução de torta de filtro. Médias de valores encontrados em três coletas efetuadas em 2012 e 2013.....	34
Tabela 9	Teores de P solúvel no solo em função dos desdobramentos da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) com e sem torta de filtro. Médias de três coletas efetuadas em 2012 e 2013.....	35
Tabela 10	Valores médios de fósforo P solúvel no solo na camada de 0 a 20 cm sob cultivo de cana soca em 2 anos consecutivos (2012 e 2013) após a aplicação de diferentes proporções de Super fosfato simples (SS) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) associados a introdução de torta de filtro.....	36
Tabela 11	Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de crescimento da planta.....	37
Tabela 12	Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de análises tecnológicas na cana.....	38
Tabela 13	Teores de Brix, Pol da cana, fibra e ATR em função da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) associados à introdução de torta de filtro no segundo corte (2013).....	39
Tabela 14	Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de rendimento da cana-de-açúcar.....	40
Tabela 15	Rendimento em função da adubação fosfatada mineral envolvendo super fosfato simples e fosfato natural de Arad, e fornecimento ou não de torta de filtro na cana planta em 2012 e na cana soca em 2013.....	40

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	Cana-de-açúcar.....	12
2.2	Importância do Fósforo para a Planta e sua Disponibilidade no Solo.....	13
2.3	Perdas de Fósforo no Solo.....	15
2.4	Tipos de Fertilizantes e seus Efeitos na Disponibilidade de Fósforo.....	16
2.5	Ação dos microrganismos na disponibilização de fósforo.....	18
2.6	Importância da matéria orgânica para disponibilização de fósforo.....	20
2.7	Uso da torta de filtro no cultivo da cana-de-açúcar.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1	Amostragem e Análise Química do Solo.....	26
3.1.1	Análises microbiológicas.....	26
3.1.1.1	Análise de biomassa microbiana no solo (BMS).....	26
3.1.1.2	Análise de respiração do solo.....	27
3.1.1.3	Análise de fósforo microbiano (Pmic).....	27
3.2	Avaliações de crescimento e rendimento da cultura.....	27
3.2.1	Contagem de perfilhos.....	27
3.2.2	Diâmetro da base do colmo, altura da planta e comprimento médio dos entrenós.....	28
3.2.3	Rendimento de colmos.....	28
3.2.4	Parâmetros tecnológicos.....	28
3.3	Análise Estatística.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5	CONCLUSÕES.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, produzindo cerca de 660 milhões de toneladas na safra 2013/2014, com produtividade média de 74,9 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2014).

Devido à importância do fornecimento de fósforo (P) para o desenvolvimento, produtividade e longevidade da cultura da cana-de-açúcar e sua alta taxa de fixação nos solos tropicais, torna-se importante o estudo de doses e formas de aplicação desse elemento (CAIONE et al., 2011b). A adubação fosfatada não propicia, de modo geral, aumentos de produtividade na cana-soca, sendo até suprimido das adubações de soqueira, entretanto cuidados para uma correta adubação fosfatada no plantio devem ser tomados (REIS JR; MONNERAT, 2002).

Em muitos solos, nas áreas de expansão da cana-de-açúcar, o fósforo é o nutriente mais limitante. A aplicação da dose adequada de fósforo em cana-planta é da maior importância para o estabelecimento de uma boa quantidade de perfilhos, o que contribui para a obtenção de soqueiras em melhores condições de produtividade (FELIPE, 2008).

O uso de fertilizantes é importante para o desenvolvimento e produção das culturas, e os altos custos dos produtos solúveis contribuem diretamente para reduzir a sua aplicação por agricultores de baixa renda. Uma alternativa é a utilização direta de fosfatos naturais ou reativos, mas um fator impeditivo é a baixa reatividade. Neste sentido, os fosfatos de baixa solubilidade são usados, geralmente em forma de pó ou em misturas com os fertilizantes solúveis, visando o seu melhor aproveitamento, considerando a sua lenta solubilização no solo (STAMFORD, 2004).

O fósforo existente na torta de filtro é orgânico e sua liberação, tal como o nitrogênio, se dá gradativamente por mineralização e por ataque de microorganismos no solo (SANTOS et al., 2011). Na mineralização da torta de filtro, assim como de outras fontes de matéria orgânica, os microorganismos produzem substâncias quelantes e complexantes que reduzem a fixação do fósforo no solo e também podem produzir substâncias promotoras de crescimento radicular (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2010).

O uso de microrganismos com maior habilidade em solubilizar fosfatos de rocha vem recebendo a atenção dos pesquisadores, principalmente pela possibilidade de seu emprego em programas de interação com microrganismos

fixadores de N<sub>2</sub> (STAMFORD, 2004). Os microrganismos envolvidos nessa atividade são bactérias e fungos saprófitos que, em ambiente de carência de fósforo, são capazes de solubilizar formas insolúveis de fosfatos, tornando o fósforo disponível para o crescimento bacteriano e para o desenvolvimento de plantas superiores (BRANCO; MURGEL; CAVINATTO, 2001).

A aplicação de torta de filtro é uma importante fonte de fósforo para a cana-de-açúcar, como também pode favorecer a proliferação de microrganismos devido a presença da matéria orgânica (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2010). Entretanto, existem poucos trabalhos disponíveis na literatura avaliando a associação da torta com fontes de fosfatos minerais.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar fontes de fosfatos (superfosfato simples e fosfato reativo) na cana-planta e seus efeitos residuais na produção de cana-soca, bem como, avaliar o efeito da torta de filtro associado com essas fontes minerais de P. Para isto, foram quantificados parâmetros biológicos relacionados ao ciclo do P no solo e componentes de produção de cana-de-açúcar.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura que proporciona de cinco a seis cortes a cada plantio, sendo o primeiro corte proveniente de plantio de mudas, denominada cana-planta e os demais cortes feitas a partir da rebrota da cana-planta, que passa a ser denominada cana soca ou soqueira (FRAVET, 2007).

A área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil, na safra 2013/14 foi de 8,811 milhões hectares, distribuídas em todos estados produtores. São Paulo permanece como o maior produtor com 51,7% (4,552 milhões hectares) da área plantada, seguido por Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná, Alagoas e Pernambuco. Estes sete estados são responsáveis por 91,9% da produção nacional. Os demais estados produtores possuem áreas menores, com representações abaixo de 3,0%. A produção total de cana-de-açúcar moída na safra 2013/14 foi de 658,8 milhões de toneladas (CONAB, 2014).

A região norte-nordeste colhe a safra no período de novembro a abril, enquanto que a região centro-sul realiza essa atividade de maio a outubro (FRAVET, 2007).

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras servindo como matéria-prima de grande flexibilidade para produzir açúcar, álcool de vários tipos, a exemplo do etanol, usado como biocombustível, bebidas como cachaça, licor, rum e vodka, também gera eletricidade a partir do bagaço, melaço, torta e resíduos da colheita (SOUSA, 2011).

A cana-de-açúcar tem sido também utilizada na alimentação animal. Neste segmento a mesma se constitui num volumoso muito utilizado e, dentre os principais fatores que contribuem para o seu uso, podem-se citar: a grande produção de forragem por unidade de área e a facilidade de cultivo – quando madura, mantém sua qualidade como forragem, além do baixo custo por unidade de matéria seca produzida; apresenta maior flexibilidade quanto às épocas de plantio e de corte, em comparação com as culturas anuais, o que facilita o gerenciamento da atividade; e pode ser uma das fontes de energia de menor custo, tanto para rebanhos de

pequena quanto de média e alta produtividade, tornando essa forrageira um alimento de grande interesse dos produtores (CALHEIROS et al., 2012).

## **2.2 Importância do Fósforo para a Planta e sua Disponibilidade no Solo**

Na cana-de-açúcar, o P desempenha função-chave no metabolismo, estando especificamente envolvido na formação de proteínas, no processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração e fornecimento de energia a partir do ATP e formação de sacarose. O fornecimento em quantidade adequada de P favorece também o enraizamento, perfilhamento, rendimento final, produção de açúcar e a absorção dos demais nutrientes (CAIONE et al., 2011b; SANTOS et al., 2011).

O conteúdo de P nos colmos de cana-de-açúcar, embora encontrando em menores quantidades ( $13 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que nitrogênio ( $93 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e potássio ( $98 \text{ kg ha}^{-1}$ ) exerce função chave no metabolismo da planta, particularmente na formação de proteínas, no processo de fotossíntese e divisão celular. Participa ativamente na conversão de glicose e frutose à formação da sacarose (FELIPE, 2008).

O elemento encontra-se no solo em duas formas: inorgânica e orgânica e com o aumento da matéria orgânica e diminuição do pH, a forma orgânica predomina no solo (SILVA FILHO; VINDOR, 2001).

Em muitos solos de áreas de expansão da cana-de-açúcar o fósforo é o nutriente mais limitante. A aplicação da dose adequada de fósforo em cana-planta é da maior importância para o estabelecimento de uma boa quantidade de perfilhos, o que contribui para a obtenção de soqueiras em melhores condições de produtividade (FELIPE, 2008).

No estudo da fertilidade do solo, normalmente a avaliação é voltada para a análise do P inorgânico ( $P_i$ ), porém tais avaliações não respondem perfeitamente ao conteúdo de P efetivamente disponível as plantas, além de ignorar formas de  $P_i$  e P orgânico ( $P_o$ ) menos disponíveis. Nas florestas, em particular, a disponibilidade de P no solo não reflete o acúmulo deste elemento na biomassa, tampouco o montante de P ciclado anualmente (PESSOA, 2011).

Neste sentido, independentemente da natureza química, as diferentes frações de fósforo são divididas de acordo com a facilidade com que repõe a

solução do solo, sendo separado em formas lábeis, moderadamente lábeis e resistentes ou não lábeis, e mesmo imprecisas essas frações servem para ajudar no entendimento da dinâmica do P no solo. A fração lábil é representada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando ele é absorvido por plantas ou por microrganismos (PESSOA, 2011).

Por isso, as frações mais lábeis são dependentes do grau de intemperização do solo, da mineralogia, da textura, do teor de matéria orgânica, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (SANTOS et al., 2008). Já a fração moderadamente lábil relaciona o P quimicamente ligados aos óxidos e a caulinita e associado à matéria orgânica (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003).

Já a fração não-lábil dificilmente volta para a lábil, apenas com muito tempo de intemperismo (FERNANDES, 2012; SANTOS et al., 2008). Em solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

O fósforo orgânico (Po), acumulado no solo, pode ser dividido em diferentes grupos de acordo com sua estrutura química. Cerca de 80% do fósforo orgânico total do solo é constituído por fosfatos monoéster (como o hexafosfato de inositol), que são compostos de alta carga residual e alta reatividade com os colóides inorgânicos do solo, fazendo com que estes sejam de alta recalcitrância e baixa disponibilidade às plantas (RHEINHEIMER et al., 2008).

Os fosfatos orgânicos diéster, polifosfatos e fosfonatos são cadeias carbonadas de mais fácil decomposição microbiana e, por isso, de baixa persistência nos solos, perfazendo em torno de 10% do fósforo orgânico total do solo. A terceira fração do fósforo orgânico do solo, a mais reativa, é o fósforo contido na biomassa microbiana do solo (P mic), adquirido da solução do solo, ou o mineralizado, a partir de compostos orgânicos e imobilizado nas células microbianas. Como os fosfatos monoéster são de difícil decomposição, a utilização do Po como fonte de fósforo às plantas está diretamente relacionada à mineralização dos fosfatos diéster e, principalmente, da ciclagem do fósforo armazenado na biomassa microbiana do solo (BMS) após a morte dos microrganismos (RHEINHEIMER et al., 2008).

O fósforo orgânico é uma fonte potencial de P às plantas, originado através da ciclagem biológica, da síntese e exsudação de enzimas fosfatases pelos microrganismos e raízes de plantas, as quais transformam o P orgânico em P inorgânico disponível no solo (PESSOA, 2011).

Na solução do solo o principal mecanismo de transporte do fósforo é a difusão, que é influenciada por vários fatores, tais como: volume de água no solo, a interação fósforo-colóide no solo, à distância a percorrer até as raízes, o teor do elemento e a temperatura do solo. Em geral, são registrados valores muito baixos de transporte de P, em razão de sua forte interação com os colóides do solo, especialmente em solos tropicais muito intemperizados; assim a baixa mobilidade do nutriente se tem constituído num problema para a nutrição fosfatada das culturas (AZEVEDO et al., 2004). Esse problema gera deficiência de fósforo nas plantas e também reduz a absorção de nitrogênio, dificultando a clarificação do caldo durante a fabricação do açúcar, elevando o custo de fabricação em virtude da necessidade de adição de fosfatos solúveis para atingir o teor ideal de P, fundamental para uma clarificação eficiente (SANTOS et al., 2011). Caldos contendo baixos teores de P são de difícil floculação e, neste caso, a decantação de impurezas é dificultada (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL 2010).

### **2.3 Perdas de Fósforo no Solo**

Quando fontes solúveis de P são adicionadas ao solo, esse elemento pode ser adsorvido na superfície dos colóides ou convertido a compostos pouco solúveis de Ferro e alumínio (BRADY; WEIL, 1996). Isso contribui para o baixo nível de eficiência (10 – 25%) dos adubos fosfatados aplicados ao solo. A adição de fonte de P solúvel a solo tipicamente tropical, pode levar até 90% do fósforo aplicado a reagir na primeira hora de contato, por meio de reações químicas de adsorção ou precipitação (WADT; SILVA, 2011).

Solos muito intemperizados possuem baixa capacidade de troca catiônica (CTC), portanto a adsorção aniônica aumenta, a saturação de base diminui e retém mais ânions de fosfato, sulfato e molibdato, tornando assim o fósforo indisponível para as plantas (NOVAIS et al., 2007).



A aplicação de adubo fosfatado com incorporação de restos vegetais no solo melhora da qualidade física, a umidade, a temperatura e aumenta a disponibilidade de P. Como consequência disso, acontece à diminuição das perdas de nutrientes, melhor desenvolvimento e produtividade das plantas (TRINDADE et al., 2011).

Bertol et al. (2004), em experimento com cultivos com rotação de culturas verificaram que as perdas totais de fósforo foram maiores no solo sem cultivo (descoberto) do que no cultivo mínimo e semeadura direta. No preparo convencional, a maior parte do fósforo perdido estava adsorvido aos sedimentos da enxurrada, já nos preparos conservacionistas, por outro lado, como as perdas de sedimentos foram baixas, as perdas totais de fósforo por erosão hídrica foram menores.

#### **2.4 Tipos de Fertilizantes e seus Efeitos na Disponibilidade de Fósforo**

Os fertilizantes organo-minerais proporcionam sustentabilidade na produção agrícola por reduzir o uso de fertilizantes minerais, por potencializar a ação microbiana e disponibilizar mais nutrientes no solo. O rendimento do fertilizante organo-mineral é superior se comparado aos fertilizantes normalmente utilizados pelos produtores (WADT; SILVA, 2011). Estes são produzidos industrialmente pela mistura de fertilizantes orgânicos (esterços, turfa, lignito oxidado, lodo de esgoto etc.) e fertilizantes minerais (WIETHOLTER et al., 2004).

A aplicação de fertilizantes fosfatados tem sido utilizada para suprir a deficiência de fósforo do solo, porém uma parte considerável é convertida a compostos insolúveis de Fe e de Al, em solos ácidos, ou de Ca, em solos com reação neutra a alcalina (NARLOCH et al., 2002). À medida que o pH do solo aumenta, ocorre a redução das concentrações de Fe, Al e manganês (Mn) na solução, reduzindo assim essa precipitação. Isso ocorre até a faixa de pH próximo a 6,5, acima do qual começam a ocorrer perdas de fósforo ligando ao cálcio.

Quanto às fontes de P, estas podem ser classificadas, basicamente, em solúveis, pouco solúveis e insolúveis; as primeiras são prontamente disponíveis e, por isso, as mais utilizadas para aumentar a quantidade de P disponível para as plantas; no entanto, esta rápida liberação pode favorecer o processo de adsorção e

precipitação das formas solúveis aos componentes do solo, indisponibilizando-o às plantas (DRESCHER et al., 2012).

Os fosfatos solúveis (superfosfato simples e triplo) e os termofosfatos apresentam a mesma eficiência. Os fosfatos naturais reativos (de origem sedimentar), como os de Gafsa, Arad e Carolina do Norte, têm apresentado eficiência agrônômica da ordem de 75% a 85%, na fase de implantação das culturas. Já os fosfatos naturais brasileiros, como os de Araxá e de Patos de Minas, são considerados com 50% de eficiência em relação aos solúveis. Os fosfatos naturais e os termofosfatos devem ser aplicados sempre a lanço e incorporados ao solo. Os fosfatos solúveis podem ser aplicados a lanço ou em sulco (LIMA; FIDELIS; COSTA, 2007).

As fontes de baixa solubilidade não conseguem manter níveis adequados de fósforo para as plantas, em virtude de sua baixa velocidade inicial de dissolução. Por outro lado, fosfatos naturais de alta reatividade, como o fosfato de gafsa, apresentam eficiência equivalente às fontes de alta solubilidade quando incorporados ao solo, estando sua eficiência ligada ao grau de substituição isomórfica do fósforo por outros íons, na rede cristalina (SANTOS et al., 2009).

Assim, os fosfatos naturais podem ser divididos em duas categorias: os fosfatos naturais “duros” têm poucas substituições isomórficas, como são a maioria dos fosfatos naturais brasileiros por causa das severas condições geológicas em que se formaram (ígneas e metamórficas); e os fosfatos naturais “moles”, de origem sedimentar, com alto grau de substituições isomórficas do fosfato por carbonato na apatita, resultando num cristal imperfeito, poroso e com baixa energia entrópica, podendo ser facilmente hidrolisado, por isso também reconhecidos como fosfatos naturais “reativos”, onde se observa que o primeiro tem uma estrutura molecular compacta e o segundo apresenta falha na ligação onde houve a substituição (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

Porém os fosfatos naturais “moles”, que reagem no solo lentamente, podem apresentar um efeito residual compensatório, e o somatório da sua eficiência, quando estimada por períodos longos (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

Os fosfatos naturais oferecidos no mercado do Extremo Sul do Brasil, como Gafsa ou Hiperfosfato e Arad, são de origem sedimentar e pertencem à classe dos fosfatos “moles” ou “reativos”. A possibilidade de sua utilização diretamente na

agricultura, principalmente do primeiro, tem sido estudada desde a década de 70, quando foi avaliada sua viabilidade (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

A dissolução dos fosfatos naturais depende da superfície de contato com o solo, sendo aumentado com a aplicação em área total seguido de incorporação, o que, não necessariamente, implica em aumento na eficiência da adubação no sulco de semeadura. No caso dos fosfatos solúveis, a recomendação é que este seja aplicado no sulco de plantio, de forma localizada, havendo assim, maior contato e proximidade com o sistema radicular das plantas, facilitando o processo de absorção (CAIONE et al., 2011a).

A solubilização dos fosfatos independe da demanda específica de fósforo dos microrganismos envolvidos e passa a ser proporcional às quantidades de rocha fosfática existente bem como, naturalmente, da disponibilidade de matéria orgânica a ser degradada, como fonte de carbono e de energia (BRANCO; MURGEL; CAVINATTO, 2001).

## **2.5 Ação dos Microrganismos na Disponibilização de Fósforo**

Os microrganismos do solo desempenham papel fundamental nos processos de mineralização e solubilização do P. Algumas bactérias que se encontram livres no solo, capazes de adaptar-se, colonizar e permanecer na rizosfera da planta podem desempenhar algumas atividades como: incrementar a solubilidade de elementos minerais (P, K, Ca, entre outros), fixar nitrogênio atmosférico, reduzir patógenos das raízes (por antagonismo ou competição) e produzir substâncias reguladoras do crescimento das plantas (auxinas, citoquininas e giberelinas) que contribuem com o aumento do crescimento das raízes (ZANATTA et al., 2012).

A biomassa microbiana do solo (BMS), composta por esses microrganismos do solo, é o principal constituinte da matéria orgânica viva, sendo definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, responsável pela dinâmica do C, N, P e S, sendo desta forma um compartimento muito importante visto que é responsável pela ciclagem de nutrientes e fluxo de energia dentro do ecossistema (PESSOA, 2011).

Os microrganismos, presentes na BMS, buscam carbono e outros nutrientes, elétrons e energia nos compostos orgânicos. Em sistemas de produções que mantêm grande quantidade de resíduos na superfície, tem-se observado aumento na sua atividade e na quantidade de P mic (RHEINHEIMER et al., 2008).

Dentre as bactérias os gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium* estão entre os mais eficientes na solubilização, enquanto que no grupo dos fungos, destacam-se os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (SOUCHIE et al., 2005). Esses grupos microbianos possuem capacidade para solubilizar fosfatos por meio de diferentes mecanismos, especialmente pela produção de ácidos (SILVA FILHO; NARLOCH; SCHARF, 2002). O ácido sulfúrico produzido pelo metabolismo microbiano no solo pode reagir com o fosfato natural aumentando com isto a disponibilidade de P no solo e também promovendo redução no pH (STAMFORD et al., 2004).

O aumento da disponibilidade de fósforo solúvel, no solo, pode inibir a liberação dos ácidos orgânicos responsáveis pela solubilização do fósforo inorgânico, bem como a ação das fosfatases, responsáveis pela mineralização do fósforo orgânico do solo. Comportamento semelhante ocorre com os fungos micorrízicos, nos quais a ação solubilizadora, a intensidade de colonização radicular e o efeito sobre o crescimento diminuem com o aumento do fósforo disponível (NARLOCH et al., 2002).

O uso de inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) representam uma alternativa para aumentar a eficiência da adubação com fosfatos solúveis e diminuir os custos de produção (ZANATTA et al., 2012). Em experimento Stamford et al. (2004) percebeu que sem a adição da bactéria específica a solubilidade de fosfatos naturais é lenta e com resultados bastante variáveis. Por outro lado, a bactéria aplicada diretamente no solo promove ação mais rápida e eficiente, favorecendo o processo simbiótico e o desenvolvimento das plantas.

A inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfatos ou o manejo de suas populações têm sido sugeridos como forma de substituir ou diminuir o uso de fertilizantes fosfáticos solúveis, mediante um melhor aproveitamento dos fosfatos naturais existentes ou adicionados ao solo (SILVA FILHO; NARLOCH; SCHARF, 2002).

## 2.6 Importância da Matéria Orgânica para Disponibilização de Fósforo

Uma importante função da matéria orgânica do solo diz respeito ao fornecimento de nutrientes as plantas, principalmente em relação ao P, elemento mais limitante no desenvolvimento da agricultura em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais. Nesses solos, o componente orgânico representa parte considerável do conteúdo disponível de P, e contribui para a nutrição das plantas pela sua mineralização. A identificação das formas orgânicas de P na matéria orgânica pode auxiliar a compreensão da dinâmica desse nutriente e colaborar para o desenvolvimento de uma agricultura menos dependente de insumos industriais (BUSSATO et al., 2005).

A remoção da vegetação natural visando à instalação de sistemas agrícolas tradicionais tem proporcionado decréscimos significativos no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo, de maneira que seu declínio favorece a oxidação dos compostos orgânicos, propiciando a sua decomposição. Além do que, sem a proteção da cobertura vegetal, o solo fica exposto aos agentes erosivos, principalmente água e vento, contribuindo para o decréscimo no teor da matéria orgânica no solo. A matéria orgânica do solo atua como fonte de nutriente, retenção de cátions, complexação de metais, fonte de C e energia aos microorganismos do solo, além de auxiliar na infiltração e retenção de água, funcionando como componente fundamental na manutenção da sustentabilidade dos solos (PESSOA, 2011).

Substâncias orgânicas continuamente liberadas pela decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo atuam como "invólucros" sobre os sítios de fixação de fósforo no solo, ou seja, a matéria orgânica reduz a exposição do fósforo à fase mineral do solo, que tem grande poder de "fixação" (BULL et al., 1998).

De acordo com Partelli et al. (2009) e Bertol et al. (2004) os experimentos com resíduos vegetais ou semeadura direta com adubos fosfatados aumentaram a concentração de P e K no solo.

O acúmulo de formas mais lábeis de fósforo orgânico (Po) nos ácidos húmicos da área de cana crua, principalmente na camada de 0 – 0,20 m podem ser determinados pelo equilíbrio entre a entrada de resíduos vegetais e sua consequente decomposição por meio dos microorganismos. A não ser que sejam

estabilizadas pelos minerais de argila ou pelos ácidos húmicos, as formas lábeis de Po são prontamente mineralizadas no solo. No manejo da cana crua essa dinâmica contribui para o maior conteúdo de P disponível (BUSSATO et al., 2005).

Em solos tropicais, o Po pode ser grandemente afetado pela mudança da cobertura vegetal, alterando a disponibilidade de P, uma vez que o Po está diretamente relacionado com a atividade biológica do solo (PESSOA, 2011).

A associação de fosfatos reativos com resíduos orgânicos, enriquecidos com microrganismos solubilizadores de fósforo, tem proporcionado resultados satisfatórios na solubilização do fósforo (HUSSAIN; ABO GHALIA; ABDALLAH, 2001). Por outro lado, o simples fato da presença de matéria orgânica disponibiliza fósforo em fosfatos insolúveis, provavelmente pela atividade microbiana saprofítica (BRANCO; MURGEL; CAVINATTO, 2001).

## **2.7 Uso da Torta de Filtro no Cultivo da Cana-de-Açúcar**

No início da década de 80 a torta de filtro foi descoberta como um excelente produto orgânico para recuperação de solos exauridos ou de baixa fertilidade, bem como para o fornecimento de nutrientes, principalmente P (FRAVET, 2007).

A torta de filtro e a vinhaça podem substituir adubos químicos e acarretar uma diminuição dos custos em torno de US\$ 60 por hectare. Cada tonelada de cana moída gera em torno de 40 kg de torta de filtro que é resultante da mistura do processo de clarificação do açúcar (lodo de decantação) com o bagaço de cana moído (FRAVET et al., 2010)

Uma das práticas aplicadas na cana-de-açúcar é o uso de torta de filtro como fertilizante, além de propiciar melhores condições para a brotação da cana-de-açúcar, proporciona aumento substancial na produção (SANTOS, 2012).

Na adubação como subproduto da indústria sucroalcooleira, a vinhaça e a torta de filtro podem ser dispostas diretamente no solo, ou ainda, na forma de composto. Trata-se de uma adubação orgânica, capaz de atender a demanda de nutrientes da cultura de cana-de-açúcar e reduzir custos com tratamentos culturais. Outra forma para o aproveitamento da torta de filtro é a possibilidade de aplicá-la misturada com fosfatos naturais, uma vez que a esta possui capacidade de melhorar

a solubilidade destes compostos, disponibilizando mais rapidamente o P, quando comparado à aplicação deste, sem a torta de filtro (FRAVET, 2007).

Silva (2007) relata que o volume desse material, produzido por safra, em uma única unidade industrial, pode ser suficiente para se plantar de 1.000 a 1.500 hectares de cana. Admitindo-se um nível de adubação de  $52 \text{ kg ha}^{-1}$  de P, isso equivaleria a uma redução em torno de 52 a 77 t de P  $\text{ano}^{-1}$ , além da economia com o nitrogênio da cana-planta, pois a dosagem de 20 t de composto por hectare fornece uma quantidade superior a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  desse nutriente.

Por ser um composto basicamente orgânico, a torta de filtro, tem composição química variável e apresenta altos teores de matéria orgânica, P, N, Ca e possui, ainda, teores consideráveis de K, Mg e expressivas quantidades de Fe, Mn, Zn e Cu. Uma dose de  $20 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro na base úmida ou  $5 \text{ t ha}^{-1}$  na base seca pode fornecer até 100% do nitrogênio, 50% de fósforo, 15% de potássio, 100% de cálcio e 50% de magnésio (FRAVET et al., 2010).

Ferreira, Zotarelli e Salviati (1986) também apresentam a composição média da torta de filtro expressa em % da matéria seca sendo 77 a 85 de matéria orgânica; 1,1 a 1,4 de N; 1,04 a 2,55 de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 0,3 a 0,96 de  $\text{K}_2\text{O}$ ; 4,07 a 5,46 de CaO; 0,15 a 0,56 de MgO e 2,70 a 2,96 de S. Nunes Júnior (2008) relata que a torta de filtro também é rica em micronutrientes, sendo 0,8% a 1,2% de Fe, 500 a 800  $\text{mg dm}^{-3}$  de Mn, 40 a 80  $\text{mg dm}^{-3}$  de Cu e 150 a 220  $\text{mg dm}^{-3}$  de Zn.

A torta de filtro gerada por usinas tem aproximadamente o dobro de fósforo que as produzidas em destilarias (aproximadamente 2% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na torta de usina e 1% na de destilaria, na base seca). Já com relação ao teor de N, a torta proveniente de destilarias tem 25% a mais de N do que a torta gerada pelas usinas (FRAVET, 2007).

Em virtude das fontes de fósforo possuir baixa eficiência em solos tropicais, a torta de filtro pode ser utilizada como carregador orgânico para proteger o fósforo da fixação, ou seja, melhora desta maneira, a disponibilidade deste nutriente às plantas (SANTOS et al., 2011).

Em experimento realizado por Dinardo-Miranda, Vasconcelos e Landell (2010) a aplicação de torta de filtro mostrou-se como eficiente no fornecimento de fósforo para a cana-de-açúcar. Entretanto, existem poucos trabalhos disponíveis na literatura avaliando a associação da torta com as fontes de fosfatos minerais. Nardin

(2007) não encontrou incremento de produção em cana de ano que recebeu até 60 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro (úmida).



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em março de 2011 em área experimental do Campus II da Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, em Presidente Prudente-SP, em um solo classificado como Argissolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2007). As avaliações foram realizadas na cana-soca, após o primeiro corte, em junho de 2012.

Adotou-se delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas pela aplicação de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  via superfosfato simples (SS) ou Fosfato Reativo de Arad (FRA) ou via diferentes proporções entre essas fontes. E as subparcelas foram compostas pela presença ou ausência de torta de filtro (TF) no sulco de plantio. Assim, os tratamentos efetivados no plantio foram os seguintes:

- 1 - 100% SS, com TF;
- 2 - 100% SS, sem TF;
- 3 – 66% SS e 33% FRA; com TF;
- 4 – 66% SS e 33% FRA, sem TF;
- 5 – 33% SS e 66% FRA, com TF;
- 6 – 33% SS e 66% FRA, sem TF;
- 7 – 100% FRA, com TF,
- 8 – 100% FRA, sem TF.

Em janeiro de 2011, antes do plantio da cana, realizou-se amostragem de solo na camada de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm (Tabela 1). Com os resultados de fertilidade inicial do solo foi possível realizar a recomendação de adubação e calagem (RAIJ; CANTARELLA, 1996). A área foi então preparada em fevereiro com aração e gradagem, e calcariada em área total com  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de calcário dolomítico, seguindo recomendações de Raij et al. (2001).

Em março de 2011 realizou-se nova gradagem para nivelamento da área para a abertura dos sulcos de plantio, com espaçamento entre linhas de 1,5 m, onde foram efetivadas as adubações com N, K e P, sendo  $30 \text{ Kg ha}^{-1}$  de N, utilizando como fonte o nitrato de amônia,  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , via cloreto de potássio, e  $150 \text{ Kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , aplicados de acordo com o delineamento

experimental. Em seguida sobre o adubo químico, foi aplicada a torta de filtro nas subparcelas na quantidade de 20 t ha<sup>-1</sup> (base úmida), a qual considerando-se a análise de P, na base seca (tabela 2), fornece aproximadamente 106 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare. O plantio da cana-de-açúcar ocorreu em março de 2011 e o primeiro corte foi efetuado em junho de 2012.

Amostras de torta de filtro foram encaminhadas ao laboratório para realização de análise química e caracterização do material (Tabela 2).

**Tabela 1.** Análise química do solo no local do experimento antes do plantio da cana-de-açúcar.

Profundidade (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	MO (g dm <sup>-3</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	Al <sub>3+</sub>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V (%)
				(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )							
0 a 20cm	5,3	11	1	0	15	2,5	8	0,7	11	26	42
20 a 40cm	5,3	10	1	0	19	1,8	9	1,2	12	26	42

**Tabela 2.** Análise química da torta de filtro antes de aplicar no solo.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(g kg <sup>-1</sup> )						(mg kg <sup>-1</sup> )				
9,0	9,4	1,4	34,1	9,8	6,6	8,0	22,6	5426	785	110

O plantio da cana foi efetuado com 18 a 22 gemas por metro linear utilizando-se a variedade RB 86-7515, considerada de elevada rusticidade e recomendada para ambientes de produção com restrição hídrica expressiva (UDOP, 2012). As operações de abertura de sulco e plantio, assim como os tratos culturais para implantação e condução da cultura da cana-de-açúcar foram seguidas por recomendações técnicas de acordo com Raj e Cantarella (1996).

Após o primeiro corte (junho de 2012), passados 60 dias, aplicou-se 500 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 20-00-20.

### 3.1 Amostragem e Análise Química do Solo

Foram realizadas avaliações do solo em três ocasiões durante o ciclo da cana-de-açúcar, sendo a primeira avaliação efetivada com três meses do primeiro corte (setembro 2012), a segunda avaliação realizada 10 meses após o primeiro corte (abril de 2013) e a terceira com três meses após o segundo corte (setembro 2013). Para isto foram retiradas amostras de solo em uma única profundidade (0 – 20 cm), coletando-se de cada subparcela três amostras simples as quais foram depositadas em sacos plásticos, que em seguida foram homogeneizadas para obter uma amostra composta para fins de análise de fertilidade e microbiológicas (Biomassa Microbiana do Solo, respiração do solo e Fósforo microbiano). As amostras de solo destinadas para as análises microbiológicas foram analisadas imediatamente após a coleta e também foram conservadas em baixa temperatura (5° C).

As amostras de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Análises Químicas da Unoeste, onde foram secas ao ar e analisadas os macronutrientes de acordo com Raij et al. (2001).

#### 3.1.1 Análises microbiológicas

##### 3.1.1.1 Análise de biomassa microbiana no solo (BMS)

As amostras de solo foram secas para obtenção de terra fina secadas ao ar (TFSA) peneiradas (2 mm) e em seguida reumedecidas com água para elevar a umidade a 25% da capacidade máxima de retenção de água no solo (GONÇALVES et al., 2002). A biomassa microbiana foi então determinada pelo método descrito por Vance, Brooks e Jenkinson (1987), utilizando-se, em lugar do clorofórmio, a irradiação proporcionada por forno de microondas. Este procedimento denominado de irradiação-extração (IE) foi adaptado por Ferreira, Camargo e Vidor (1999). Os valores do carbono presente na biomassa microbiana (C mic) foram calculados pela equação

$C_{mic} (mg Kg^{-1}) = (CI - CNI) / K_{ec}$ , onde CI é carbono extraído da amostra de solo irradiada; CNI é carbono extraído da amostra de solo não irradiada e o  $K_{ec}$  é Fator de correção do carbono microbiano = 0,21 (FRIGHETTO, 2000).

### **3.1.1.2 Análise de respiração do solo**

Uma porção do solo foi peneirado (2mm) e utilizado imediatamente após a coleta para avaliação da emissão de CO<sub>2</sub> (respiração). Foi utilizada a metodologia da retenção de CO<sub>2</sub> na solução de Hidróxido de sódio (NaOH). Para medição do carbonato de sódio formado utilizou-se o método condutimétrico com leitura de condutividade na solução de NaOH após 24 horas, empregando-se um condutivímetro modelo HI99301 (Hanna instruments) (RODELLA; SABOYA, 1999). A quantidade de CO<sub>2</sub> produzida pela respiração foi calculada utilizando-se fórmula definida por Rodella e Saboya (1999) e os resultados foram expressos em mg de C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

### **3.1.1.3 Análise de Fósforo microbiano (Pmic)**

Para análise do fósforo foi utilizado parte do extrato obtido na análise de biomassa microbiana. As amostras foram filtradas a vácuo, com funil de Buchner e papel de filtro obtendo-se um filtrado límpido. Foi retirada uma alíquota de 25 ml da amostra filtrada e realizada a digestão pelo Método do Persulfato de Potássio e a determinação da concentração de fósforo total foi através do Método 4.500-P do Molibdato de Amônia (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005). Os resultados obtidos foram então expressos para mg de P kg de solo<sup>-1</sup>. Assumindo-se que apenas 40% do fósforo da biomassa são extraídos pelo método, foi usado o fator de correção 0,4 para chegar a 100% do P mic, de acordo com Brookes et al. (1982).

## **3.2 Avaliações de crescimento e rendimento da cultura**

### **3.2.1 Contagem de perfilhos**

O perfilhamento das plantas foi avaliado uma semana antes do segundo corte por meio da contagem do número de perfilhos por metro linear. Foram contados os perfilhos em 4 m lineares no total em 4 pontos de 1 m distintos

dentro de cada subparcela. Os resultados foram convertidos em números de perfilhos por metro linear.

### **3.2.2 Diâmetro da base do colmo, altura da planta e comprimento médio dos entrenós**

As medidas de diâmetro dos colmos e a altura das plantas foram realizadas em 10 plantas de área útil de cada subparcela uma semana antes do segundo corte. Para a avaliação do diâmetro de colmo foi utilizado o paquímetro digital, realizando-se as medições sempre a uma altura de 15 cm da superfície do solo até a altura de inserção da folha +1 (folha mais alta com o colarinho visível). Nessa ocasião foi efetuado o comprimento médio dos entrenós, por meio da razão entre a medida de altura da planta e o número de entrenós.

### **3.2.3 Rendimento de colmos**

Por ocasião da colheita foram amostrados os colmos dentro da área útil de 3 metros lineares de cada subparcela. Esses colmos tiveram a massa determinada para avaliação da produtividade de colmos por área (toneladas de massa fresca de colmos por hectare).

### **3.2.4 Parâmetros tecnológicos**

Foram selecionados 3 colmos por parcela na qual foram desintegrados e armazenados para fazer as análises tecnológicas para obter a porcentagem de sólidos solúveis em uma solução açucarada (°Brix), porcentagem de sacarose existente na cana (Pol cana), Açúcar Total Recuperável (ATR), umidade e fibra da cana pelo Método do Digestor e da Estufa de Spencer descritos por Fernandes (2003).

### **3.3 Análise Estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância ( $p < 0,05$ ) e ao teste de comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade de acordo com procedimentos propostos por Pimentel Gomes (2000).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os valores de F obtidos na análise de variância (Tabela 3), o fator adubação fosfatada não apresentou significância na avaliação da biomassa (Cmic) e na respiração microbiana do solo, mas com relação ao fósforo microbiano (P mic) o valor foi significativo. Já com relação à torta de filtro, a biomassa e fósforo microbiano apresentaram valores de F significativos. Pode se destacar também a interação significativa desses dois fatores na variável P microbiano.

**Tabela 3.** Valores de F calculados pela análise de variância das avaliações microbiológicas.

Causas de variação	C mic	Respiração	P mic
Adubação fosfatada (AF)	0,932 <sup>ns</sup>	0,724 <sup>ns</sup>	3,632*
Torta de filtro (TF)	6,106*	0,002 <sup>ns</sup>	11,721**
Período (P)	11,246**	4,991*	2,006 <sup>ns</sup>
AF x TF	0,411 <sup>ns</sup>	0,080 <sup>ns</sup>	3,774*
AF x P	2,318*	0,253 <sup>ns</sup>	3,703**
TF x P	1,190 <sup>ns</sup>	0,062 <sup>ns</sup>	0,552 <sup>ns</sup>
CV	28,52	55,44	3,41

C mic= biomassa microbiana; P mic= Fósforo microbiano  
ns, \*, \*\*Não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste Tukey, respectivamente.

A biomassa microbiana nesse estudo não apresentou diferenças significativas nas diferentes combinações das fontes de adubação fosfatada. Entretanto, a adubação com 100% de fósforo solúvel proporcionou maior imobilização do P na biomassa microbiana (Tabela 4). Bezerra et al. (2008), encontraram aumentos nos valores de biomassa microbiana proporcional aos aumentos de fósforo no sistema, demonstrado assim uma maior retenção desse nutriente no solo, mediante o fluxo de P pela biomassa microbiana e consequentemente maior disponibilidade para as plantas.

**Tabela 4.** Teores de C mic e P mic em função da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) associados à introdução de torta de filtro. Médias de três coletas efetuadas em 2012 e 2013.

Fator	C mic (mg Kg <sup>-1</sup> )	P mic (mg P kg <sup>-1</sup> )
<b>Adubação Fosfatada</b>		
100% SS	339,73 a	7,0 a
66% SS + 33% FRA	404,09 a	5,0 ab
33% SS + 66% FRA	344,17 a	4,5 ab
100% FRA	403,05 a	3,5 b
<b>Torta de filtro</b>		
Com	418,35 a	6,5 a
Sem	327,17 b	3,5 b

Médias com a mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

No presente trabalho, observou-se também que a biomassa microbiana, apresentou diferenças significativas quando se comparou os valores encontrados em 2012 e 2013 (Tabela 5). No ano de 2013 os tratamentos apresentaram de forma geral os maiores valores de biomassa. Isto pode revelar que o cultivo da cana soca proporciona incrementos na biomassa independente da fonte de adubação utilizada.



**Tabela 5.** Valores médios de biomassa microbiana no solo sob cultivo de cana soca em 2 períodos (2012 e 2013) após a aplicação de diferentes proporções de Super fosfato simples (SS) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) associados a introdução de torta de filtro.

Fator	2012	2013
Adução fosfatada	(mg de Cmic Kg <sup>-1</sup> de solo)	(mg de Cmic Kg <sup>-1</sup> de solo)
100% SS	147,21 aB	519,25 aA
66% SS + 33% FRA	356,90 aA	511,25 aA
33% SS + 66% FRA	206,84 aB	517,12 aA
100% FRA	348,69 aA	369,25 aA
Torta de filtro		
Com	329,08 aB	546,43 aA
Sem	200,73 bB	412,00 bA

Letras minúsculas indicam a diferença ao nível de 5%, no teste de Tukey, entre os tratamentos (colunas) e as letras maiúsculas indicam a diferença ao nível de 5%, no teste de Tukey, entre os períodos (linhas).

O efeito da presença de torta de filtro associada à adubação fosfatada (Tabela 6) mostrou que o tratamento com 100% de P solúvel proporcionou a maior concentração de P mic em comparação com o tratamento com 100% de fosfato reativo. Já na comparação da adubação fosfatada com presença e ausência de torta, verificou-se que na presença de torta encontrou-se o maior valor de P mic no tratamento com 100% P solúvel e com 66% P solúvel + 33% fosfato reativo. O aumento no conteúdo de P mic, quando adicionado adubo fosfatado solúvel ao solo, também foi observado por Saffigna et al. (1989) e Guerra et al. (1995). Contudo esse aumento foi potencializado com a presença de torta.

Segundo Rheinheimer et al. (2008), parte do fósforo adicionado que é incorporado pela biomassa pode ser uma fonte potencial de fósforo disponível, considerando que o P mic é uma fração lábil da matéria orgânica.

Martinazzo et al. (2007) confirma que a imobilização de P pela biomassa é maximizada quando há disponibilidade concomitante de resíduos orgânicos e fosfato, ou seja, o efeito é positivo quando há adição de fosfato solúvel com fornecimento de fontes de carbono e energia, que no caso são fornecidos pela torta de filtro usada nesse experimento.

**Tabela 6.** Teores de P mic em função dos desdobramentos da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) com ou sem torta de filtro. Médias de três coletas efetuadas em 2012 e 2013.

Fator Adubação Fosfatada	Torta de Filtro	
	Com (mg P kg <sup>-1</sup> )	Sem (mg P kg <sup>-1</sup> )
100% SS	9,0 aA	5,0 aB
66% SS + 33% FRA	8,5 abA	2,0 aB
33% SS+ 66% FRA	5,0 bcA	4,0 aA
100% FRA	3,5 cA	4,0 aA

Letras minúsculas indicam a diferença entre linhas e a maiúscula entre colunas ao nível de 5%, no teste de Tukey.

A adubação fosfatada e a torta de filtro foram responsáveis por valores de F significativos na avaliação de fósforo solúvel no solo. Foi constatada também e a interação significativa entre a adubação e a torta de filtro (Tabela 7).

A torta de filtro promoveu alterações significativas no aumento da disponibilidade de P (Tabela 8) com os maiores valores obtidos no tratamento com 100% de fosfato solúvel.

**Tabela 7.** Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de P solúvel no solo.

Causas de variação	P
Adubação fosfatada (AF)	16, 414 <sup>**</sup>
Torta de filtro (TF)	6, 252 <sup>*</sup>
Período (P)	4, 384 <sup>*</sup>
AF x TF	3, 168 <sup>*</sup>
AF x P	1, 130 <sup>ns</sup>
TF x P	0, 313 <sup>ns</sup>
CV	38,59

ns, \* , \*\*Não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste Tukey, respectivamente.

A torta de filtro pode não só substituir parcialmente o P requerido na cultura, mas proporcionar alterações profundas nos atributos químicos e físicos do solo, disponibilizando N, P, e Ca e aumentando a sua capacidade de retenção de água (KONDORFER, 2004).

**Tabela 8.** Teores médios de P solúvel no solo em função da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) associados a introdução de torta de filtro. Médias de valores encontrados em três coletas efetuadas em 2012 e 2013.

Fator	P
Adubação Fosfatada	(mg dm <sup>-3</sup> )
100% SS	36,66 a
66% SS + 33% FRA	13,22 b
33% SS+ 66% FRA	13,92 b
100% FRA	9,24 b
Torta de filtro	
Com	22,11 a
Sem	14,41 b

Letras minúsculas indicam a diferença ao nível de 5%, no teste de Tukey.

A maior concentração de P solúvel no solo encontrou-se no tratamento com aplicação de torta de filtro no tratamento com 100% de P solúvel (Tabela 9).

Em um trabalho realizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, que avaliou a fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar com adubação de torta de filtro, concluiu-se que a aplicação de torta de filtro promoveu melhoria na fertilidade do solo em virtude de aumentar seus teores de macro e micronutrientes e reduzir os teores de Al, promovendo, desta forma, uma ação corretiva da acidez do solo enquanto os fertilizantes minerais promoveram a acidificação (OLIVEIRA, 2012).

**Tabela 9.** Teores de P solúvel no solo em função dos desdobramentos da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) com e sem torta de filtro. Médias de três coletas efetuadas em 2012 e 2013.

Fator Adubação Fosfatada	Torta de Filtro	
	Com (mg/dm <sup>3</sup> )	Sem (mg/dm <sup>3</sup> )
100% SS	48,30 aA	25,02 aB
66% SS + 33% FRA	15,38 bA	11,06 abA
33% + 66% FRA	12,73 bA	15,12 abA
100% FRA	12,04 bA	6,45 bA

Letras minúsculas indicam a diferença entre linhas e a maiúscula entre colunas ao nível de 5%, no teste de Tukey.

A disponibilização de fósforo no solo de cultivo da cana soca foi maior no tratamento com 100% de fosfato solúvel (Tabela 10). Entretanto, os valores encontrados em 2013 foram inferiores aos encontrados em 2012, revelando com isto perda significativa deste elemento para o sistema solo-planta. Os tratamentos com associações de fosfatos solúveis e reativos não apresentaram perdas de teores de fósforo no solo quando se comparou as avaliações em 2012 e 2013. Isso corrobora com Lima, Fidelis e Costa (2007), que afirmam o sucesso na resposta inicial da implantação de pastagens, com fontes de fosfatos solúveis, ser devido a maior disponibilidade do P solúvel no solo. Mas, com o decorrer do tempo, as fontes

menos solúveis tendem a aumentar a produção pelo aumento de sua reatividade e por apresentarem maior efeito residual.

**Tabela 10.** Valores médios de fósforo P solúvel no solo na camada de 0 a 20 cm sob cultivo de cana soca em 2 anos consecutivos (2012 e 2013) após a aplicação de diferentes proporções de Super fosfato simples (SS) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) associados a introdução de torta de filtro.

Fator	P solúvel no solo	
	2012 (mg/dm <sup>3</sup> )	2013 ( mg/dm <sup>3</sup> )
100% SS	52,13 aA	29,77 aB
66% SS + 33% FRA	16,15 bA	10,61 bA
33% SS + 66% FRA	18,45 bA	13,66 bA
100% FRA	11,50 bA	11,30 Ba
Torta de filtro		
Com	27,55 aA	19,32 aA
Sem	21,56 aA	13,35 aA

Letras minúsculas indicam a diferença entre os tratamentos (colunas) e as letras maiúsculas indicam a diferença ao nível de 5%, no teste de Tukey.

A análise de variância para os parâmetros de crescimento (Tabela 11), não indicou efeito significativo em função da adubação fosfatada e da presença de torta de filtro. Não houve interação entre adubação fosfatada e torta de filtro para os parâmetros avaliados nessa época.

**Tabela 11.** Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de crescimento da planta.

Causas de variação	Altura	Comprimento entrenós	Nº de perfilhos	Diâmetro
Adubação fosfatada (AF)	0,216 <sup>ns</sup>	0,909 <sup>ns</sup>	0,093 <sup>ns</sup>	1,316 <sup>ns</sup>
Torta de filtro (TF)	0,418 <sup>ns</sup>	1,011 <sup>ns</sup>	0,039 <sup>ns</sup>	0,013 <sup>ns</sup>
AD x TF	1,148 <sup>ns</sup>	2,082 <sup>ns</sup>	0,268 <sup>ns</sup>	0,389 <sup>ns</sup>
CV%	6,22	7,21	14,90	6,56

ns, \* Não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey, respectivamente.

A média de número de perfilhos foi de 12 perfilhos por metro linear, do comprimento dos entrenós de 15,2 cm, do diâmetro do colmo de 2,6 cm e a altura de 2,8 m. Barbosa et al. (2002) relatam que a estatura de colmos tem correlação positiva com a produtividade, ou seja, genótipos com altura de colmo maior teriam a tendência de maior produção de massa por colmo, conseqüentemente, maior produtividade. Santos (2009) também avaliou o número de perfilhos em cana-de-açúcar aos 240 dias após o plantio em diferentes doses de fósforo e composto e obteve 11 perfilhos por metro linear em média.

Fravet (2007) percebeu que a deficiência de fósforo reduziu o diâmetro do colmo e provocou encurtamento dos internódios, justificando assim a resposta positiva em relação à adubação com torta de filtro em seu experimento para altura dos colmos de cana ao redor de 2,95 m. Diferentemente aos resultados obtidos nesse experimento, pois não foram observadas essas reduções de diâmetro no emprego das diferentes proporções de adubos fosfatados e com ou sem torta de filtro.

Quanto aos parâmetros tecnológicos relacionados com a colheita da cana (Tabela 12), não houve efeito significativo dos tratamentos conduzidos, corroborando com Rossetto et al. (2002) que também não observaram influência da adubação fosfatada nas características tecnológicas da cana-de-açúcar.

**Tabela 12.** Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de análises tecnológicas na cana.

Causas de variação	Brix	Pol cana	ATR	Fibra
Adução fosfatada (AF)	2,476 <sup>ns</sup>	1,545 <sup>ns</sup>	0,956 <sup>ns</sup>	1,997 <sup>ns</sup>
Torta de filtro (TF)	1,410 <sup>ns</sup>	0,038 <sup>ns</sup>	0,183 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>
AD x TF	1,067 <sup>ns</sup>	1,435 <sup>ns</sup>	1,230 <sup>ns</sup>	0,786 <sup>ns</sup>
CV%	5,48	5,75	5,29	15,40

Brix = porcentagem de sólidos solúveis em uma solução açucarada; Pol cana = porcentagem de sacarose existente na cana; ATR = Açúcar Total Recuperável. ns, \* Não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey, respectivamente.

O valor médio da porcentagem de sacarose na cana (Pol cana) foi de 14,6% (Tabela 13). De acordo com Ripoli e Ripoli (2004), as variedades são consideradas ricas em Pol cana quando os valores são maiores que 14%, médias com POL entre 12,5 e 14%, e pobres com Pol cana menor que 12,5%. No Estado de São Paulo, segundo este autor, uma cana para ser considerada madura deve apresentar Pol cana variando de 14,4 (início da safra) a 15,3 (transcorrer da safra).

Franco (2003) observou dados de Pol (caldo e cana) para a cana-planta e a cana-soca e desta forma verificou que os colmos foram colhidos após atingirem o ponto de maturação (Pol cana com 14,7% na cana-planta e 16,7% na cana-soca).

O valor de porcentagem de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada – BRIX (Tabela 13) foi em média de 15,3, ou seja, se apresentou um pouco abaixo da média utilizada na indústria sucroalcooleira, no Estado de São Paulo, que considera uma cana para ser industrializada deve ter, entre outras características, um caldo que contenha no mínimo 18° Brix, ou seja, 18% de sólidos solúveis (FERNANDES, 2000).

Os valores de Brix, de acordo com Santos et al. (2010), também expressaram que a aplicação de torta de filtro não apresentou efeito significativo, independentemente das quantidade de fosfato associados a torta.

Os tratamentos conduzidos neste estudo obtiveram a média de 12,4% de fibra (Tabela 13), que está de acordo com a média de outros trabalhos. A análise

de mais de três mil amostras de cinco importantes variedades mostrou média da fibra “botânica” de 11,35%. Os dados do sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose de São Paulo (PCTS) mostram que a fibra “industrial” oscilou entre 13% e 14% de 1987 a 1998 (FERNANDES, 2000). Franco (2003) cita que os níveis de fibra de uma cana adequada para colheita devem oscilar numa faixa de 10-11%. Nunes Júnior (2008) avaliando parâmetros tecnológicos de diversas variedades no Estado de SP verificou que a variedade RB 86 7515 teve o teor de fibra variando entre 11 a 11,5%, POL entre 16 e 17% e ATR com a média de 150 kg t<sup>-1</sup> de cana.

Em experimento feito por Dalri e Cruz (2008), os valores médios apresentados das análises tecnológicas da cana-soca e ressoca também não tiveram efeito dos tratamentos na qualidade tecnológica, ou seja, os valores de BRIX foram 17,8 %, Pol cana 13,57%, fibra 9,64% e ATR 131,05 kg t<sup>-1</sup>.

**Tabela 13.** Teores de Brix, Pol da cana, fibra e ATR em função da adubação fosfatada mineral com super fosfato simples (SS) e fosfato reativo de Arad (FRA) associados à introdução de torta de filtro no segundo corte (2013).

Fator	Brix	Pol cana	Fibra	ATR
Adubação	(%)	(%)	(%)	(Kg ton <sup>-1</sup> )
fosfatada				
100% SS	15,70	13,94	11,98	138,83
66% SS + 33%	15,22	14,83	13,41	145,13
FRA				
33% + 66% FRA	14,99	14,39	13,09	141,28
100% FRA	15,55	14,34	11,35	141,87
Torta de filtro				
Com	15,13	14,34	12,46	141,21
Sem	15,60	14,40	12,45	142,34

O rendimento da cana-de-açúcar não foi influenciado significativamente pelos diferentes tratamentos conduzidos (Tabela 14). A cana planta comparada com a soca apresentou maiores rendimentos com 100% P solúvel e sem aplicação de torta (Tabela 15).



**Tabela 14.** Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de rendimento da cana-de-açúcar.

Causas de variação	Rendimento
Adubação fosfatada (AF)	0,292 <sup>ns</sup>
Torta de filtro (TF)	0,066 <sup>ns</sup>
Período (P)	9,897 <sup>*</sup>
AF x TF	1,493 <sup>ns</sup>
AF x P	1,601 <sup>ns</sup>
TF x P	1,016 <sup>ns</sup>
CV	22,23

ns, \* , \*\*Não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste Tukey, respectivamente

**Tabela 15.** Rendimento em função da adubação fosfatada mineral envolvendo super fosfato simples e fosfato natural de Arad, e fornecimento ou não de torta de filtro na cana planta em 2012 e na cana soca em 2013.

Fator	Cana Planta	Cana Soca
	Produtividade	Produtividade
Adubação fosfatada	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )
100% SS	157,82 aA	108,73 aB
66% SS + 33% FRA	146,83 aA	138,45 aA
33% + 66% FRA	156,79 aA	126,04 aA
100% FRA	142,80 aA	133,84 aA
Torta de filtro		
Com	148,16 aA	131,65 aA
Sem	153,96 aA	121,89 aB

Letras minúsculas indicam a diferença ao nível de 5%, no teste de Tukey.

A adubação fosfatada tem proporcionado pouca resposta quando aplicado em soqueiras. Desta forma, a aplicação da dose adequada de fósforo em cana-planta é da maior importância para o estabelecimento de uma boa população de colmos, o que contribui para a obtenção de soqueiras em melhores condições de produtividade (KORNDORFER; FARIA; MARTINS, 1998).

De acordo com Zambrosi (2011), embora seja argumentado que as doses de P utilizadas no plantio seriam suficientes para atender as exigências da cultura durante vários ciclos de crescimento, a disponibilidade do nutriente é significativamente diminuída ao longo do tempo. Desta maneira, é possível que os níveis de P no solo não sejam compatíveis com a demanda da cana-de-açúcar, e também, para a manutenção do máximo potencial produtivo em cortes subsequentes, isso confirma o que está acontecendo no nesse experimento, pois a produtividade caiu de um ano para o outro.

A aplicação da torta de filtro proporcionou ganhos significativos de rendimento de colmos na cultura no segundo corte efetuado. Penatti e Boni (1989) encontraram em trabalho conduzido com doses de torta de filtro fresca (5, 10 e 15 t ha<sup>-1</sup>), associada à adubação mineral, ganhos de rendimentos a partir do 3º corte do canavial. Nardin (2007), também avaliando diferentes formas de adubação da cana verificaram que o melhor retorno econômico ocorreu quando se aplicou 21 t ha<sup>-1</sup> de torta no sulco de plantio, juntamente com a complementação mineral de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N e 140 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

A torta de filtro influenciou na produtividade da cana soca, confirmando resultados de Santos et al. (2010) que avaliou a adubação fosfatada sem aplicação de torta de filtro, encontrando-se rendimento médio de 99,8 toneladas de cana por hectare (TCH), enquanto com uso de torta de filtro o rendimento aumentou para 108,5 TCH. Ferreira, Zotarelli e Salviati (1986) em avaliação de cana soca, observaram que a aplicação de torta de filtro em doses crescentes proporcionou rendimento médio de 71,6 TCH e sem aplicação de torta a 61,3 TCH.

Cabe ressaltar que a liberação do fósforo presente na torta de filtro para o solo é gradativa, proporcionando residual médio de 2 a 3 cortes, dependendo do clima da localidade (SANTOS, 2009). Nos climas tropicais, a torta de filtro apresenta residual por dois anos e, nos climas mais amenos, como o dos Estados de São Paulo e Paraná, a torta de filtro pode contribuir por três anos (SANTOS et al., 2010).

Os resultados encontrados neste estudo apontam que a utilização da torta de filtro em associação com a adubação fosfatada, pode ser adotada como prática pelos produtores, visando ganhos de produtividade e redução dos custos econômicos, possibilitando o uso de fontes de fertilizantes minerais mais baratas e reciclagem de um resíduo orgânico da indústria sucroalcooleira.

## 5 CONCLUSÕES

- Não houve alteração do crescimento e rendimento da cultura quando se empregou as diferentes associações de adubos fosfatados, com ou sem torta, contudo o tratamento apenas com fosfato solúvel apresentou queda de rendimento da cana soca quando se comparou com o rendimento da cana planta.

- A adubação fosfatada apenas com fonte solúvel apresentou maiores teores de fósforo no solo e na biomassa microbiana.

- A aplicação de torta de filtro foi benéfica para o aumento da biomassa, e fósforo microbiano e fósforo solúvel no solo, como também manteve o rendimento da cana semelhante nos dois anos avaliados.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 2. ed. Washington: EPS, 2005.

AZEVEDO, W. R. et al. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 995-1004, 2004.

BARBOSA, M. H. P. et al. Análise de causa e efeito para produção de colmos e seus componentes na seleção de famílias de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife - Pernambuco. **Anais...** 2002. p. 366-370.

BERTOL, I. et al. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 485-494, 2004.

BEZERRA, R. G. D. et al. A atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento sustentável**, Mossoró, RN, v. 3, n. 4, p. 64-69, 2008.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 11. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

BRANCO, S. M.; MURGEL, P.H.; CAVINATTO, V.M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.6, n.3-4, 2001.

BROOKES, P. C. et al. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biol. Biochem.**, Elmsford, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.

BULL, L. T. et al. Relações entre fósforo extraído por resina e respostas da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 459-470, 1998.

BUSSATO, J. G. et al. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. II – Análise de ácidos húmicos por RMN <sup>31</sup> P. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 945-953, 2005.

CAIONE, G. et al. 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. et al. Modos de aplicação de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 9, n. 1, p. 1- 11, 2011b.

CALHEIROS, A. S. et al. Produção de biomassa, de açúcar e de proteína em função de variedades de cana e de adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 809-818, abr. 2012.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Quarto Levantamento**, Brasília: CONAB, 2014.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, v. 27, p. 893-900, 2003.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, G. A. Cana-de-açúcar. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010.

DRESCHER, A. H. et al. Atributos químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar sob efeito residual de fontes de fósforo. **Tecnologia & Ciên. Agropecuária**, João Pessoa, v. 6, n. 2, p. 35-40, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 306p.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. 2008. Dissertação (Mestrado na Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

FERNANDES, A. C. Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240 p.

FERNANDES, A. C. Cálculos na agroindústria da cana de açúcar. Piracicaba: STAB, 2000. 193p.

FERNANDES, R.D.M. **Adubação fosfatada e fosfatagem**. Disponível em: <<http://pt.shvoong.com/exact-sciences/agronomy-agriculture/1888633-aduba%C3%A7%C3%A3o-fosfatada-fosfatagem/#ixzz2CIWiMyZ5>>. Acesso em: 27 set. 2012.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, E. S.; ZOTARELLI, E. M. M.; SALVIATI, L. Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1986. p. 321-331.

FRANCO, A. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto e vinhaça: nitrogênio no sistema solo-planta, produtividade e características**

tecnológicas. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

FRAVET, P. R. F. et al. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010.

FRAVET, P. R. F. **Doses e formas de aplicação de torta de filtro na produção de cana soca**. 2007. Dissertação (Mestrado na área de concentração em Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FRIGHETTO, R. T. S. **Análise da biomassa microbiana em carbono**: método de fumigação-extração. In: FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P. J. (coords). Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000. p.157-166.

GONÇALVES, A. S. et al. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. **Pes. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 651-658, 2002.

GUERRA, J. G. M. et al. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana do solo de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. **Pesq. Agropecu. Bras.**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 4, p. 543-551, 1995.

HUSSAIN, A. A.; ABO GHALIA, H. H.; ABDALLAH, S. A. Rock phosphate solubilization by Aspergilli species grown on olive-cake waste and its application in plant growth improvement. **Egyptian Journal of Biology**, v. 3, p. 89-86, 2001.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficiência de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Soc. Bras. de Ciência do Solo, 1997. Boletim Técnico nº.3, 31p.

KORNDORFER, G. H.; FARIA, R. J.; MARTINS, M. Efeito do fósforo na produção da cana-de-ano e cana-soca em solo do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 10, p. 1667-1673, 1998.

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

LIMA, S. O.; FIDELIS, R. R.; COSTA, S. J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no sul do Tocantins. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 100-105, 2007.

MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 563-570, 2007.

NARDIN, R. R. **Torta de filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agrônômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas**. 2007. Dissertação (Mestrado na Área de Concentração em Tecnologia de Produção

Agrícola) - Instituto Agronômico no curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas.

NARLOCH, C. et al. Respostas da cultura do rabanete à inoculação de fungos solubilizadores de fosfatos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 841-845, jun. 2002.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

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

OLIVEIRA, L. **Fosfatos reativo e solúvel associado a torta de filtro na adubação da cana planta**. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado na Área de Concentração: Produção Vegetal) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente.

PARTELLI, F. L. et al. Qualidade da matéria orgânica e distribuição do fósforo no solo de lavouras orgânicas de café Conilon. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2065-2072, out. 2009.

PENATTI, C. P. BONI, P. S. **Efeito da torta de filtro na cana planta e cana soca**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1989. Relatório Técnico.

PESSOA, P. M. A. **Biomassa Microbiana, frações de carbono e fósforo orgânico de um latossolo húmico sob diferentes usos**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 477p.

RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. V. et al. (coord.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. p.233-236.

REIS JR, R. A.; MONNERAT, P. H. Diagnose Nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 367-372, 2002.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Amplitude no fósforo microbiano em um Argissolo em pastagem nativa submetida à roçada e à introdução de espécies forrageiras com fertilização fosfatada em diferentes épocas. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 30, n. 4, p. 561-567, 2008.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: T.C.C. Tripoli, 2004. p. 185-189.



RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 14, p. 2059- 2060, 1999.

ROSSETTO, R. et al. Eficiência agronômica do fosfato natural na cultura da cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiro e Alcooleiros do Brasil, 8., 2002, Pernambuco. **Anais...** Pernambuco: STAB, 2002. p. 276-282.

SAFFIGNA, P. G. et al. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. **Soil Biol. Biochem.**, Elmsford, v. 21, n. 1, p. 197-204, 1989.

SANTOS, D. H. **Adubação da cana-de-açúcar com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente.

SANTOS, D. H. et al. 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, out./dez. 2010.

SANTOS, D.H. et al. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n. 5, p. 443–449, 2011.

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

SANTOS, D. H. **Efeito Residual da adubação de plantio com torta de filtro e fosfato sulúvel na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar**. 2012. Dissertação (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu.

SANTOS, V. R. et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 389–396, 2009.

SILVA, E. T. **Análise de crescimento e produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) influenciadas por doses de fósforo**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo.

SILVA FILHO, G. N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 847-854, 2002.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1495-1508, 2001.

SOUCHIE, E. L. et al. Solubilização de fosfatos em meios sólido e líquido por bactérias e fungos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1149-1152, nov. 2005.

SOUSA, R. T. X. **Fertilizantes fosfatados para a can-de-açúcar aplicados em pré-plantio (fosfatagem)**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

STAMFORD, N. P. et al. Atuação de *Acidithiobacillus* solubilização de fosfato natural em solo de Tabuleira cultivado com jacatupé (*Pachyrhizus erosus*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 75-83, 2004.

TRINDADE, E. F. S. et al. Disponibilidade de fósforo em solos manejados com e sem queima no nordeste Paranaense. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 6, n. 12, jan./jun. 2011.

VANCE, E. D.; BROOKS, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biologic & Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

UDOP. **Variedades**. 2008. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/geral.php>>. Acesso em: 09 out. 2012.

WADT, P. G. S.; SILVA, L. M. **Determinação do fósforo para avaliação da disponibilidade em solo do Estado do Acre**. Rio Branco: Ebrapa Acre, 2011. Comunicado Técnico 178.

WIETHOLTER, S. et al. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2004.

ZAMBROSI, F. C. B. Adubação com fósforo em cana-soca e sua interação com magnésio. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p. 400-405, 2011.

ZANATTA, Z. G. C. N. et al. **Avaliação do efeito de isolados bacterianos com capacidade solubilizadora de fosfato no desenvolvimento de plantas**. EMBRAPA (Clima Temperado). Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/index.php>>. Acesso em: 05 nov. 2012.