



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E FONTES DE FÓSFORO:**  
**TEOR DE FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS E**  
**ABSORÇÃO PELA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Paulo Sergio Silva Bezerra**

Químico

**2014**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E FONTES DE FÓSFORO:  
TEOR DE FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS E ABSORÇÃO PELA  
CANA-DE-AÇÚCAR**

**Paulo Sergio Silva Bezerra**

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

**Coorientadora: Profa. Dra. Francirose Shigaki**

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

**2014**

Bezerra, Paulo Sergio Silva  
B574s Substâncias húmicas e fontes de fósforo: teor de fósforo disponível em solos e absorção pela cana-de-açúcar. / Paulo Sergio Silva Bezerra. -- Jaboticabal, 2014  
xiv, 76p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.

Orientador: Renato de Mello Prado

Coorientadora: Francirose Shigaki

Banca examinadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz; Priscila Lupino Gratão; Edson Cabral da Silva; Leonides Castellanos González

#### Bibliografia

1. Acúmulo de fósforo.
2. Adubação fosfatada.
3. Extrato de turfa.
4. Fósforo residual.
5. Matéria orgânica.
6. *Saccharum* ssp. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:633.61

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**PAULO SERGIO SILVA BEZERRA** - Filho de José Viana Bezerra (encanador) e Maura Silva Bezerra (professora do ensino fundamental). Nascido no dia 09 de abril de 1969 no município de Mirinzal - MA. Iniciou sua vida escolar em 1976 no ensino fundamental em escola pública, concluindo em 1983. Em 1984, iniciou o ensino médio no Centro de Ensino de 2º Grau “Gonçalves Dias”, concluindo o Curso Técnico em “Laboratórios de Análises Clínicas” em 1986. Ingressou na Universidade Federal do Maranhão – UFMA em 1992 no curso de química, formando-se em Química Licenciatura em 1997. Nesta mesma universidade consagrou-se Mestre em química analítica no ano de 2002. Neste mesmo ano foi aprovado em concurso público do Estado do Maranhão, assumindo como Professor de química do ensino médio. Em 2006, foi nomeado para Professor Assistente da Universidade Federal do Maranhão sendo lotado no Centro de Ciências Ambientais e Agrárias (CCAA) no município de Chapadinha-Ma. Leciona a disciplina de química analítica para os cursos de Agronomia e Zootecnia. Em 2011, ingressou no doutorado em Agronomia (Ciência do Solo), pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Câmpus de Jaboticabal.

“A química é só uma ferramenta, sua utilização para o bem ou para o mal quem define é quem a utiliza.”

L. Pauling

## DEDICO

Aos meus pais, José Viana Bezerra e Maura Silva Bezerra (ambos *in memorian*), pelo exemplo de vida, dedicação e luta em nossa criação. Quiseram eles vivos para contemplar comigo esta alegria.

À minha amada esposa Valdelice Protásio, pelo amor, carinho e incentivo nos momentos mais difíceis.

Aos meus filhos Nayan, Paulo Victor e Paulo Ricardo, por eles é que faço desta vida uma batalha diária.

Aos meus irmãos Júlio, Iara, Itacyara, Henrique e Soraya, pelas conquistas de sonhos, momentos e realizações.

## OFEREÇO

À DEUS, que é a razão da nossa existência e a luz que ilumina a nossa caminhada.

**\*\*\*\*\*Ninguém é como o nosso Deus\*\*\*\*\***

## **AGRADECIMENTOS**

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista, Programa de Pós-Graduação de Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela orientação, companheirismo, paciência e colaboração com seus ensinamentos para o bom desenvolvimento deste trabalho;

A Profa. Dra. Francirose Shigaki (Coorientadora), pela ajuda e contribuição na execução deste trabalho de pesquisa;

Aos graduandos em Agronomia, Bianca e Victor, por participarem desde o início do projeto, na coleta de solos, no plantio, no laboratório, sempre dispostos a colaborar para o bom andamento desta pesquisa;

Aos amigos do curso de pós-graduação Alexsandra, Ana Zélia, Ariston, Cristiane, Carlos Magno, Edson, Fredgardson, Ismênia, Ivo, Izumy, Jeane, James, José Maria, José Roberto, Jussara, Marcelino, Rogério, Sandra e Telmo. Agradeço a todos pelos momentos de alegria, amizade e convivência;

Aos amigos do Dinter/Piauí, Carlota, Cristiane, Conceição, Galvão e Laurielson, pela amizade e convivência longe de nossa terra;

Ao amigo de doutorado Gustavo Caione, pela grande contribuição na discussão deste trabalho;

À Empresa ITAJUBARA LTDA, pelo acolhimento e fornecimento da variedade de cana-de-açúcar para utilização neste trabalho;

Compartilho e agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
<b>1. CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Revisão de literatura.....</b>	<b>3</b>
1.2.1. Cana-de-açúcar em solos tropicais.....	3
1.2.2. Fontes de fósforo.....	5
1.2.3. A disponibilidade de fósforo na produção da cana-de-açúcar...	6
1.2.4. A turfa como fonte de substâncias húmicas.....	8
1.2.5. A Importância das substâncias húmicas em solos tropicais.....	9
1.2.6. Adubação fosfatada e matéria orgânica em diferentes solos.....	12
<b>1.3 Referências.....</b>	<b>15</b>
<b>2. CAPÍTULO 2 - Fontes fosfatadas e substâncias húmicas na disponibilidade de fósforo em Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho-Amarelo.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 Material e métodos.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Resultados e discussão.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Conclusões.....</b>	<b>38</b>
<b>2.5 Referências .....</b>	<b>39</b>
<b>3. CAPÍTULO 3 - Fosfato natural e substâncias húmicas aplicados em Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho-Amarelo cultivados com cana-de-açúcar.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Material e métodos.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Resultados e discussão.....</b>	<b>50</b>
<b>3.4 Conclusões.....</b>	<b>70</b>
<b>3.5 Referências .....</b>	<b>71</b>



## SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E FONTES DE FÓSFORO: TEOR DE FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS E ABSORÇÃO PELA CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** - A matéria orgânica quando aplicada adequadamente no solo pode aumentar a disponibilidade de fósforo para plantas graças à sua afinidade por sítios de adsorção de P. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito do P disponível em dois solos: Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), adubados com doses de extrato de turfa e fontes de P na absorção de P pela cana-de-açúcar. Foram desenvolvidos dois experimentos na Universidade Federal do Maranhão/UFMA, Câmpus de Chapadinha - MA. No primeiro experimento, 200 g de solo foram incubados por 30 e 60 dias utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado, em um esquema 2x4x5, com três repetições, constituído por dois solos, quatro fontes de P: superfosfato triplo (SFT), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR), fosfato monoamônico (MAP), com dose constante de P ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e cinco doses de turfa (0, 100, 200, 400 e  $800 \text{ L ha}^{-1}$ ). Após o tempo de incubação, fez-se a amostragem do solo e determinou-se o P-resina, matéria orgânica e valor pH. O segundo experimento foi conduzido em casa de vegetação num delineamento inteiramente casualizado 2x2x3+2, com três repetições, sendo dois solos, ausência e presença de  $520 \text{ L ha}^{-1}$  de extrato de turfa, três doses de P (75, 150 e  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ ) na forma de fosfato natural reativo e um controle para cada solo (sem fósforo e sem turfa). A unidade experimental foi constituída por um vaso preenchido com 20 kg de solo contendo uma planta de cana-de-açúcar, variedade RB 867515. Avaliaram-se acúmulo de fósforo, altura da planta, número de perfilho, diâmetro do perfilho e matéria seca da parte aérea da planta, aos 180 dias após plantio (1º ciclo) e 120 dias após o corte (2º ciclo). No primeiro experimento, As doses de extrato de turfa incrementaram o teor de matéria orgânica e de P disponível, independente do solo ou da fonte de P empregada. A presença de substâncias húmicas proporcionou aumento na disponibilidade de P em todas as fontes estudadas na sequência MAP>SFT>SFS>FNR. O maior teor de P disponível foi encontrado no Neossolo em relação ao Argissolo. A dose do extrato de turfa que proporcionou maiores incrementos dos teores de P nos solos pelas fontes fosfatadas variou entre 500 a  $580 \text{ L ha}^{-1}$ . No segundo experimento, a aplicação de extrato de turfa proporcionou maiores teores de fósforo e matéria orgânica no solo. O fosfato natural reativo proporciona um bom efeito residual de fósforo disponível, independente da sua associação com o extrato de turfa. O nível adequado de fósforo para a planta ocorreu entre as doses 150 -  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ . O uso de fosfato natural reativo associado ao extrato de turfa proporcionou maiores incrementos nas variáveis estudadas da cana-de-açúcar para os dois ciclos comparados ao fosfato natural isolado. A presença das substâncias húmicas proporcionou incremento significativo nas plantas de cana-de-açúcar cultivadas nos dois solos. O uso do extrato da turfa pode se transformar em uma maneira viável de aumentar a eficiência agrônômica da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** Acúmulo de fósforo, adubação fosfatada, extrato de turfa, fósforo residual, matéria orgânica, *saccharum* spp.

## HUMIC SUBSTANCES AND PHOSPHATE SOURCES: PHOSPHORUS CONTENT AVAILABLE IN SOILS AND ABSORPTION BY THE OF SUGAR CANE

**ABSTRACT** - The organic matter in the soil when applied properly can increase the availability of phosphorus for plants due to its affinity for adsorption sites P. This study aimed to evaluate the effect of available P in two soils: Quatzipsamment (RQo) and Kandiudult (PVA), with doses of extract of peat and P sources in the absorption by sugar cane. Two experiments were developed at the Federal University of Maranhão/UFMA, Chapadinha Campus, MA. In the first experiment, 200 g of soil was incubated for 30 to 60 days utilizing a 2x4x5 factorial scheme in an entirely randomized delineation, being two soils, four P sources: triple superphosphate (TSP), simple superphosphate (SSP), rock phosphate (RP), monoammonium phosphate (MAP), with a constant dosage of P ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ), five doses of peat, (0, 100; 200; 400;  $800 \text{ L ha}^{-1}$ ), with three repetitions. After the incubation period, a sample was taken of the soil, determining P-resin, organic matter and pH. The second experiment was installed in a greenhouse, in an entirely randomized delineation 2x2x3+2, there being two soils, absence and presence of  $520 \text{ L ha}^{-1}$  of peat, three doses of P (75, 150, and  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ ) in the form of natural reactive phosphate and a control of each soil (no phosphorus and no peat), with three repetitions. The experimental unit constituted of a vase filled with 20 kg of soil containing a sugar cane plant, RB 867515 variety. Phosphorus accumulation, plant height, tiller number of plant, tiller diameter and dry material on the aerial part of the plant were evaluated, 180 days after planting and 120 days after cutting. In the first experiment the doses of extract of peat incremented the available content of P and organic matter, independent of soil or source used. The presence of humic substances resulted in higher P availability in all studied following  $\text{MAP} > \text{TSP} > \text{SSP} > \text{RP}$  sources. The higher content of available P was found in Quatzisamment in the Kandiudult. The dose of the extract of peat which provided greater increases in the levels of P in soils by phosphate sources ranged from  $500\text{-}580 \text{ L ha}^{-1}$ . In the second experiment the application of peat extract yielded higher levels of phosphorus and organic matter in soil. The reactive phosphate provides a good residual effect of available phosphorus, independent of its association with the extract of peat. The adequate level of phosphorus for the plant occurred between the  $150 - 300 \text{ mg dm}^{-3}$  doses. The use of reactive phosphate associated with peat extract provided greater increases in variables of cane sugar for two cycles compared to rock phosphate isolated. The presence of humic substances provided a significant increase in plant cane sugar grown in the two soils. The use of the extract of peat can become a viable way to increase the agronomic efficiency of cane sugar.

**KEY WORDS:** Phosphorus accumulation, phosphate fertilization, extract of peat, residual phosphorus, organic matter, *saccharum* spp.

## LISTA DE FIGURAS

Descrição	Pág.
<b>Capítulo 1</b>	
Figura 1. Competição entre ácidos orgânicos e fósforo, pelos sítios de adsorção no solo.....	8
Figura 2. Esquema de fracionamento do material orgânico e das substâncias húmicas presentes no solo.....	11
<b>Capítulo 2</b>	
Figura 1. Relação do fósforo em equilíbrio e adsorvido em função do fósforo em equilíbrio na solução para a determinação da capacidade máxima de adsorção de P no Neossolo Quartzarênico (RQ) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), determinada por ajuste da equação da isoterma de Langmuir.....	27
Figura 2. Valor de pH no Neossolo e Argissolo em função das doses de turfa aos 30 dias de incubação (a) e em função das fontes fosfatada aos 60 dias de incubação dos solos (b). ns, não significativo; **significativo ( $p < 0,01$ ) e *significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. (DMS = 0,2): Letras minúsculas comparam o valor de pH nas fontes de P dentro do Neossolo; letras maiúscula comparam o valor de pH nas fontes dentro do Argissolo.....	30
Figura 3. Teor de matéria orgânica (MO) no Neossolo (RQ) e Argissolo (PVA) em função das doses de turfa para os solos incubados por 60 dias.....	32
Figura 4. Teor de P disponível em função das fontes de P em Neossolo e Argissolo aos 30 dias, DMS=10,2 (a) e aos 60 dias, DMS=11,9 (b) de incubação do solo. ns - não significativo e **significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam as fontes dentro do Neossolo. Letras Maiúsculas comparam as fontes de P dentro do Argissolo.....	33
Figura 5. Teor de fósforo disponível em função das doses de turfa em Neossolo (RQ) e Argissolo (PVA) aos 30 dias (a) e 60 dias (b) de incubação do solo. ns, não significativo; ** significativo ( $p < 0,01$ ) e *significativo ( $p < 0,05$ ).....	35
Figura 6. Teor de fósforo disponível para as fontes fosfatadas em função das doses de turfa aos 30 dias (a) e aos 60 dias (b) de incubação do solo. ns, não significativo; ** significativo ( $p < 0,01$ ) e *significativo ( $p < 0,05$ ). (SFT = superfosfato triplo; SFS = superfosfato simples; FNR = fosfato natural reativo de Bayóvar; MAP = fosfato monoamônico).....	36

### Capítulo 3

- Figura 1. Matéria orgânica em função das doses de fósforo em diferentes solos (a) e diferentes níveis de turfa (b). ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 2,6: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (a) e na ausência de turfa (b); letras maiúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Argissolo (a) e na presença de turfa (b)..... 51
- Figura 2. Fósforo disponível em função dos solos (a) e em função das doses de P (b) em níveis diferentes de turfa. ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 49,1: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa; letras maiúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na presença de turfa..... 53
- Figura 3. Acúmulo de P em função dos solos em diferentes níveis de turfa (a); das doses de P em diferentes solos (b); e das doses de P em diferentes níveis de turfa (c) na cana-de-açúcar de primeiro ciclo. ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS=58,5: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (b) e na ausência de turfa (c). Letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo (b) e na presença de turfa (c)..... 55
- Figura 4. Altura da planta em função de doses de P nos diferentes solos (a) e diferentes níveis de turfa (b) no primeiro ciclo da cana-de-açúcar. ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 7,2: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (a) e ausência de turfa (b) e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo (a) e na presença de turfa (b)..... 57
- Figura 5. Diâmetro do perfilho em função de doses de P nos diferentes solos (a) e diferentes níveis de turfa (b) no primeiro ciclo da cana-de-açúcar. ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 1,2: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (a) ausência de turfa (b) e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo (a) e presença de turfa (b)..... 58
- Figura 6. Número de perfilho em função das doses crescentes de P nos diferentes níveis de turfa para a cana-de-açúcar de primeiro ciclo. ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. DMS=0,9: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro tratamento na presença de turfa..... 59

- Figura 7. Matéria seca da parte aérea (MSPA) em função das doses de P nos diferentes níveis de turfa para a cana-de-açúcar de primeiro ciclo. \*\* significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS=7,0: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro tratamento na presença de turfa..... 60
- Figura 8. Acúmulo de P em função no segundo ciclo da cana-de-açúcar dos solos nos diferentes níveis de turfa (a) e em função das doses de P em diferentes níveis de turfa (b), aplicados no plantio.\*\*significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 66,6: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro tratamento na presença de turfa (b)..... 63
- Figura 9. Altura da planta de cana-de-açúcar de segundo ciclo em função dos solos. ns, não significativo e \*\* significativo ( $p < 0,01$ )..... 64
- Figura 10. Diâmetro do perfilho na cana-de-açúcar de segundo ciclo em função dos solos em diferentes níveis de turfa (a); dos níveis de doses de P em diferentes solos (b) e das doses crescentes de P em diferentes níveis de turfa (c). ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS=0,9: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (b) e tratamento na ausência de turfa (c). Letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo (b) e tratamento na presença de turfa (c)..... 65
- Figura 11. Número de perfilho na cana-de-açúcar de segundo ciclo em função das doses crescentes de P nos diferentes níveis de extrato de turfa. ns, não significativo e \*\* significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS=0,8: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro tratamento na presença de turfa..... 66
- Figura 12. Matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar no segundo ciclo em função dos solos em diferentes níveis de turfa (a) e função das doses de P em diferentes solos (b). ns, não significativo e \*\* significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS = 9,9: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo..... 68

## LISTA DE TABELAS

Descrição	Pág.
<b>Capítulo 2</b>	
Tabela 1. Caracterização dos atributos químicos e granulométricos do Neossolo Quartzarênico (RQ) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), na profundidade 0 - 20 cm.....	26
Tabela 2. Valor de pH, matéria orgânica (MO) e P disponível em função dos solos, fontes de P e doses de turfa nos períodos de 30 e 60 dias de incubação do solo.....	29
<b>Capítulo 3</b>	
Tabela 1. Caracterização dos atributos químicos e granulométricos do Neossolo Quartzarênico (RQ) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), na profundidade 0 - 20 cm.....	47
Tabela 2. Valor de pH, matéria orgânica (MO) e fósforo disponível (P resina) nos solos em função dos tratamentos (solos, turfa e doses de P)....	50
Tabela 3. Valor de pH, matéria orgânica (MO) e fósforo disponível (P resina) nos solos em função dos tratamentos (solos, turfa e doses de P)...	54
Tabela 4. Acúmulo de fósforo (AcP), altura da planta (AP), diâmetro do perfilho (DP), número de perfilho (NP) e matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar de segundo ciclo em função dos tratamentos (solos, turfa e doses de P).....	62

## **CAPITULO 1 – Considerações gerais**

### **1.1 Introdução**

Dentre os nutrientes essenciais às plantas, o fósforo (P) exerce função relevante no metabolismo, com grande importância no armazenamento e na transferência de energia, constituindo-se elemento essencial para o desenvolvimento inicial, produtividade e longevidade da cultura. A eficiência da adubação fosfatada é baixa, sobretudo em solos altamente intemperizados (ROSSETTO; DIAS; VITTI, 2008).

Nos solos tropicais predominam argilas 1:1 e óxi-hidróxidos de ferro e de alumínio, esses minerais possuem elevada capacidade de adsorção P, o que diminui o teor disponível deste nutriente no solo. Portanto, para suprir a demanda de P pelas plantas torna-se conveniente a aplicação do nutriente via fertilizante, porém a redistribuição deste nutriente no solo é dependente da fonte utilizada (DAROUB; PIERCE; ELLIS, 2000).

As principais fontes de P podem ser classificadas, basicamente, em solúveis, pouco solúveis e insolúveis. As primeiras são prontamente disponíveis, esta rápida liberação pode favorecer o processo de adsorção e precipitação do P aos componentes do solo, tornando-o indisponível às plantas, sendo este processo mais expressivo quanto mais argiloso for o solo (KORNDÖRFER; MELO, 2009). As fontes de baixa solubilidade não conseguem manter níveis adequados de P para as plantas, em virtude de sua baixa velocidade inicial de dissolução (HOROWITZ; MEURER, 2003). Por outro lado, fosfatos naturais de alta reatividade, apresentam eficiência equivalente às fontes de alta solubilidade quando incorporados ao solo (PALHARIM, 2007).

Para a cana-de-açúcar, a adubação fosfatada tem sido realizada com aplicação cada vez maior de fontes fosfatadas solúveis, o que tem elevado o custo da adubação de plantio nesta cultura (SANTOS et al., 2010). Segundo Schumacher, Ceconi e Santana (2003), para suprir o P ao longo do tempo deve-se aplicar uma fonte de menor solubilidade em toda a área localizada perto da planta onde as raízes possam alcançá-lo.

Visto que as reservas de P são finitas e devido à elevada demanda pelo nutriente na agricultura, faz-se necessário estudar alternativas para aumentar a disponibilidade de P nos solos em períodos mais longos, sem aumentar o uso de fertilizantes fosfatados, como forma de aumentar a absorção de P pela planta.

Uma forma de aumentar a eficiência da adubação fosfatada e a disponibilidade do P para a planta é utilizar fertilizante fosfatado associado a adubos orgânicos (torta de filtro, vinhaça, esterco, lodo de esgoto e turfa). Os adubos orgânicos proporcionam liberação de substâncias húmicas, que possuem grupos funcionais como -OH e -COOH na solução do solo, com alta densidade de cargas negativas e interação na superfície dos óxidos de Fe e Al, o que proporciona diminuição da adsorção de P (GUPPY et al., 2005; ZHOU; YAN; GU, 2005).

Existem trabalhos indicando que o uso de materiais orgânicos incorporados no solo aumenta a produção de cana-de-açúcar, com destaque a torta de filtro em cana-planta (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011), torta de filtro em cana-soca (FRAVET et al, 2010), lodo de esgoto (TASSO JÚNIOR et al., 2007) e vinhaça (MARQUES, 2006; PENATTI et al., 1988).

Estudos com uso de extrato de turfa como fonte de substâncias húmicas, associado ou não à fonte fosfatada em cana-de-açúcar ainda são incipientes. Dentre os estudos pode-se destacar os trabalhos de Bolonhezi et al. (2007); Rosato, Bolonhezi e Ferreira (2010), que utilizaram substâncias húmicas aplicadas em sulco de plantio em cana-planta e de Gullo (2007), que utilizou um produto comercial a base de turfa enriquecido com ácido húmico incorporado no solo associado com adubo mineral (NPK) em cana-planta e soca. Estes autores observaram que após adição destas substâncias húmicas houve maior eficiência da fonte fosfatada resultando em melhor qualidade da matéria prima e aumento da produtividade de colmos.

Considerando a baixa eficiência da adubação fosfatada nos solos tropicais, estudos sobre o uso do extrato de turfa associados a fontes de P em diferentes solos podem trazer informações importantes à literatura existente, sobre a participação das substâncias húmicas no aumento da disponibilidade de P, bem como, na maior eficiência da absorção deste nutriente pela cana-de-açúcar. Objetivou-se verificar o efeito das doses de extrato de turfa enriquecida com



substâncias húmicas em diferentes fontes de P na disponibilidade de P em dois solos diferentes (Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho-Amarelo); Avaliar o efeito do crescimento, absorção de P e produção de matéria seca em cana-de-açúcar (dois ciclos), cultivada na presença e na ausência do extrato de turfa associado a fosfato natural reativo e avaliar o efeito P residual no solo após tratamento dos solos com doses de P e extrato de turfa no final do plantio de cana-de-açúcar.

## **1.2 Revisão de literatura**

### **1.2.1 Cana-de-açúcar em solos tropicais**

Apesar do cultivo da cana-de-açúcar ter se estabelecido sobre os mais diversos tipos de solo no país, de textura argilosa a arenosa, com altos teores de matéria orgânica ou quase nenhuma, a cana-de-açúcar é tolerante à acidez e à alcalinidade do solo, com seu desenvolvimento máximo atingido em solo com pH 6,5 (LIMA et al., 2006). Embora não seja tão sensível como outras culturas à acidez do solo, a cana-de-açúcar requer níveis adequados de P, potássio, cálcio, magnésio e pH, além desta cultura ser responsável por 15,5% do total de fertilizantes consumidos na área agrícola do país (ANDA, 2011). Além disso, a adubação representa até 30% do custo de produção da cana-de-açúcar, devido à grande remoção de massa verde por área plantada, o que implica a reposição de nutrientes por meio de fertilizantes (ANDA, 2011).

A crescente evolução do setor sucroalcooleiro no país vem aumentando significativamente, isso porque a utilização de recursos renováveis, como o etanol, está em grande destaque atualmente (KORNDÖRFER; MELO, 2009). Qualquer que seja a matéria prima (cana-de-açúcar, beterraba, milho, etc.) da qual se extraia açúcar e etanol, o setor sucroalcooleiro do Brasil está entre os mais competitivos do mundo. Esta competitividade pode ser atribuída, dentre outros fatores, ao elevado teor de fibra da cana-de-açúcar, que lhe confere independência em relação à energia externa, ou seja, em termos energéticos, a cana-de-açúcar apresenta

vantagens competitivas claras na comparação com outras culturas (NUNES JÚNIOR, 2008).

A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 está estimada em 8.893,0 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores conforme suas características. A previsão é que Minas Gerais se torne o segundo maior estado produtor, ultrapassando o estado de Goiás. O estado de São Paulo permanece como o maior produtor com 51,3% (4.560,88 mil hectares) da área plantada, seguido por Minas Gerais com 9,31% (827,97 mil hectares), Goiás com 9,3% (827,03 mil hectares), Paraná com 7,0% (624,02 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,6% (586,22 mil hectares), Alagoas com 5,0% (441,25 mil hectares) e Pernambuco com 3,3% (295,39 mil hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3,0% (CONAB, 2013).

A área de cana-de-açúcar destinada à produção neste ano safra deve apresentar um crescimento de 4,8% ou 408 mil hectares em relação à safra passada. O aumento só não será maior por causa da intenção de plantio do Norte/Nordeste apresentar uma leve queda em relação à safra passada. A área de renovação e/ou novas áreas de canaviais previstas para acontecer na atual temporada é estimada em 16,92% das lavouras atuais (CONAB, 2013).

No estado do Maranhão, embora tenha uma área plantada menor, se comparado com outros estados produtores, houve um crescimento expressivo de 25% em relação às últimas safras na área cultivada com cana-de-açúcar (CONAB, 2013). Por causa da expansão do setor de produção de fontes alternativas de energia (etanol e biodiesel) e o plantio de cana-de-açúcar neste estado, surge necessidade de maior atenção aos aspectos produtivos visando melhorar a fertilidade do solo e o uso consciente do ambiente.

A cidade de Chapadinha-MA, localizada no leste maranhense a 3° 44' S, 43° 21' W e 110 m de altitude, tem como grande atividade agrícola a cultura da soja seguida das culturas do milho e da cana-de-açúcar (SELBACH; LEITE, 2008).

Pesquisas sobre adubação em cana-de-açúcar em solos da região do Estado do Maranhão são incipientes, portanto, o que caracteriza uma necessidade de mais informações sobre estes solos que tem como característica de apresentarem baixa

disponibilidade de P, que por sua vez constitui-se em um dos fatores mais limitante à produção agrícola.

### **1.2.2 Fontes de fósforo**

As principais fontes de P podem ser divididas em: a) fosfatos naturais (rocha fosfática moída; reatividade/eficiência agronômica variável dependendo de fatores ligados a mineralogia da rocha); b) termofosfatos (processo térmico; consumo de elevada quantidade de energia) e c) fosfatos totalmente acidulados (PROCHNOW, 2004). Dentre as opções de fontes de fósforo hoje no mercado, os fosfatos totalmente acidulados ocupam posição de destaque, com maior quantidade comercializada, devido sua elevada quantidade de P disponibilizada para as plantas (ALVAREZ; ARRUDA; WUTKE, 1965).

Os fosfatos naturais, também conhecidos como fosfatos de rocha, englobam diversos minerais fosfatados que podem ter origem ígnea, sedimentar ou metamórfica. Estes são obtidos diretamente das jazidas e podem ou não sofrer processamento industrial (KLIEMAN, LIMA, 2001). Os fosfatos brasileiros são de origem ígnea, como o de Catalão, Jacupiranga, Patos de Minas e Araxá, com estrutura cristalina muito estável, baixíssima solubilidade em água e solubilidade em ácido cítrico menor que 5%. A eficiência de fornecimento de fósforo dessas fontes para as plantas é muito baixa e é favorecida por condições de acidez do solo. Por essa razão, os fosfatos naturais devem ser aplicados ao solo antes da calagem. Maior eficiência de fornecimento de fósforo desses fosfatos ocorrerá em solo ácido, com baixo teor de cálcio (LOPES; GUIMARÃES, 1992).

Os fosfatos de origem sedimentar possuem geologia complexa e variada, podendo ser precipitados químicos ou conter quantidades significativas de apatita fóssil (orgânica). Os minerais predominantes são apatitas com rede cristalina e alto grau de substituições isomórficas de fosfato e carbonato, o que torna o cristal mais suscetível à solubilização (LOPES; GUIMARÃES, 1992). São muitas vezes identificados como francolitas e fosforitas (KLIEMANN; LIMA, 2001), podendo ser encontrados nas regiões secas e desérticas, como Tunísia (Gafsa), Israel (Arad), Djebel-Onk, EUA (Carolina do Norte), Peru (Bayóvar) e Marrocos (Daoui) (LOPES;

GUIMARÃES, 1992). Esses fosfatos possuem no mínimo 30% de fósforo total, têm solubilidade baixíssima em água e a solubilidade em ácido cítrico em média de 12%. Por ter baixa solubilidade em água, da mesma forma que os fosfatos naturais, os fosfatos reativos também se mostram mais eficientes quando aplicados em solos ácidos com baixo teor de cálcio (PROCHNOW, 2004). Entretanto vários autores recomendam o uso destes fosfatos reativos após a calagem, devido a sua solubilização progressiva com o passar do tempo (ALVAREZ; ARRUDA; WUTKE, 1965; VITTI; MAZZA, 2002).

Os fosfatos de rocha também são a matéria-prima para a produção dos fertilizantes solúveis em água, e o processamento industrial prevê a quebra da estrutura cristalina mediante a ação de ácidos fortes, como o ácido sulfúrico na fabricação do superfosfato simples e ácido fosfórico na fabricação do superfosfato triplo ou na elevação da temperatura na fabricação dos termofosfatos. A reação dos fosfatos naturais com amônia produz os fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP), com alta concentração de nutrientes, vantajoso para transporte a longas distâncias (KORNDÖRFER, 2004).

Considerando a cana-de-açúcar uma cultura semi-perene, o desempenho dos fosfatos solúveis, inclusive o termofosfato e o multifosfato magnésiano, supera o dos fosfatos naturais (nacionais). Os fosfatos solúveis em água mais comumente utilizados são o superfosfato simples (SS), o superfosfato triplo (ST) e os fosfatos de amônio (MAP e DAP) são amplamente utilizados como fonte padrão de fósforo em experimentos que avaliam a eficiência agronômica relativa de fontes de P (BOLAN; WHITE; HEDLEY, 1990). Os fosfatos naturais reativos têm sido bastante utilizados nos últimos anos como forma de substituir as fontes solúveis devido a sua melhor eficiência em comparação aos fosfatos naturais em cultura de cana-de-açúcar, porém, ainda são necessárias mais pesquisas sobre a eficiência agronômica desta fonte nesta cultura.

### **1.2.3 A disponibilidade de fósforo na produção da cana-de-açúcar**

Apesar da baixa exigência da cana-de-açúcar pelo fósforo, doses da ordem de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  são utilizadas em virtude da adsorção deste elemento por

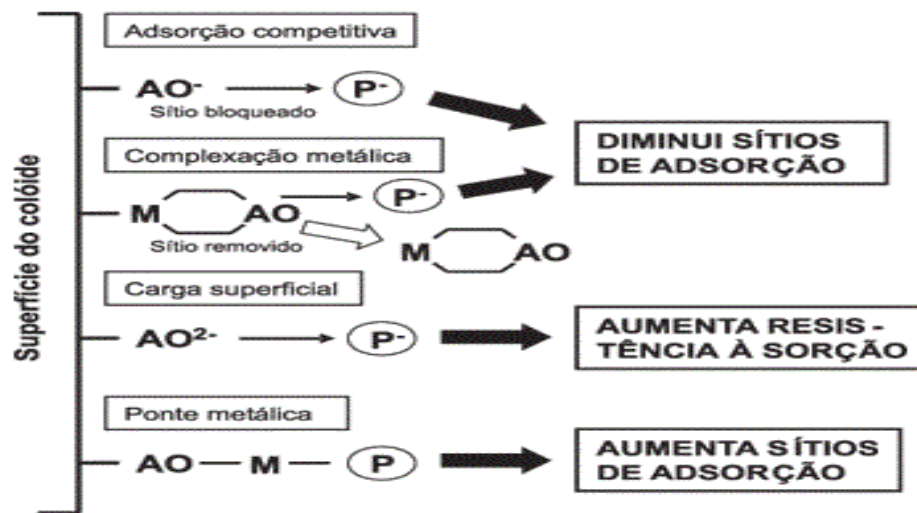
sítios positivos contidos no solo, que competem com a planta pelo fósforo aplicado via fertilizante (NOVAIS; SMYTH, 1999). Por essa razão, o percentual de aproveitamento do fósforo aplicado nas adubações de plantio é baixo, variando entre 5 e 20% (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004), embora em cana-planta já tenha sido observado aproveitamento de 35% do fósforo aplicado (KORNDÖRFER; ALCARDE, 1992). Dessa forma, a adubação deve ser realizada com base no nível de produtividade desejada, sendo a dose recomendada em função do estoque de nutriente do solo e da quantidade exigida pela cultura, levando-se em consideração as perdas do nutriente (DEMATTÊ, 2004).

O fósforo é um dos nutrientes que mais limitam a produtividade das culturas nos solos ácidos, os quais predominam nas regiões tropicais e subtropicais (MEURER; RHEINHEIMER; BISSINI, 2012). Segundo Rossetto, Dias e Vitti (2008), o fósforo desempenha funções estruturais, como armazenamento e funcionamento de energia, e participa ativamente das funções fotossintéticas da planta. De acordo com Malavolta (2006), este elemento assume grande importância no enraizamento e no perfilhamento da cana-de-açúcar e, portanto, na produtividade final. Para a cana-de-açúcar, a deficiência de fósforo pode ocorrer aos dois meses de idade, o que provoca diminuição da atividade fotossintética (SANTOS et al., 2009). Embora a quantidade total de fósforo no solo possa ser relativamente alta, na maioria das vezes, esta não se encontra em sua forma lábil, e a maior parte de P iônico aplicado ao solo torna-se imobilizado a uma forma orgânica ou adsorvido aos colóides do solo (HOLFORD, 1997). De acordo com trabalhos desenvolvidos em vários tipos de solos, a aplicação de P pode incrementar a produtividade da cana-de-açúcar, seja em cana-planta (FIGUEIREDO FILHO; MARINHO; BARBOSA, 1996; FIGUEIREDO FILHO, 2002; ROSSETTO; DIAS; VITTI, (2008); KORNDÖRFER, 2004; KORNDÖRFER; MELO, 2009), como na soca (SANTOS et al., 2009; DANTAS NETO et al., 2006).

A baixa disponibilidade de fósforo nos solos da região semiárida do nordeste brasileiro mostra o quanto é importante o estudo do comportamento desse elemento no solo, com vistas a adequar o suprimento às plantas, pois é necessário estabelecer um método apropriado para adubação fosfatada, já que a adsorção do P

influencia diretamente na resposta das plantas à aplicação de fertilizantes (MALAVOLTA, 2006).

Corrêa, Mauad e Rosolem (2004) acreditam que o reduzido suprimento de fósforo nessa região é decorrente tanto do material de origem como da forte interação do fosfato com o solo, fenômeno este conhecido como adsorção ou fixação de fósforo. Aquino (2004) define adsorção de fósforo como sendo o fenômeno no qual formas solúveis de P se tornam menos solúveis ou insolúveis ao entrarem em contato com a fase sólida do solo.



**Figura 1.** Competição entre ácidos orgânicos e fósforo pelos sítios de adsorção no solo (adaptado de Guppy et al., 2005)

Os ácidos orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica podem influenciar tanto positivamente quanto negativamente a disponibilidade de P, conforme o esquema proposto por Guppy et al. (2005), descrito na Figura 1. Na maior parte do Brasil estudos têm demonstrado que os principais fatores que influenciam a adsorção de fósforo no solo são: teor e mineralogia da fração argila, teor de coloides, pH, alumínio trocável e matéria orgânica (CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007; MOREIRA et al., 2006; VALLADARES; PEREIRA; ANJOS, 2003).

#### 1.2.4 A turfa como fonte de substâncias húmicas

A composição elementar das turfas, assim como suas propriedades dependem de vários fatores, como a natureza da vegetação, o clima da região, a

acidez da água e seu grau de decomposição (BROWN; GILL; ALLEN, 2000). Sua estrutura varia de fibrosa a sáprica, e a proporção relativa de C, H e O variam, dependendo de sua composição botânica e grau de humificação. A faixa de valores de composição elementar (livre de umidade e cinzas) varia de 50-60% de C e 5-6% de H. Estes elementos tendem geralmente a aumentar com o aumento do grau de decomposição, enquanto a quantidade de O (30-40%) diminui (COCOZZA et al., 2003).

As turfas possuem estrutura complexa, que possui como principais constituintes os betumes (ácidos graxos, ceras e esteroides), as substâncias húmicas (SH's), os carboidratos (principalmente celulose e proteínas) e as ligninas (substâncias polifenólicas) (BROWN; GILL; ALLIEN, 2000). Normalmente lignina e celulose são os constituintes predominantes, sendo a porcentagem de SH função direta do grau de decomposição, uma vez que elas não existem naturalmente nas plantas vivas e são produtos intermediários no ciclo de decomposição da matéria orgânica (ROSA et al., 2005).

Recentemente, a turfa tem sido muito estudada como um material alternativo para a remoção de impurezas de diferentes efluentes (BROWN; GILL; ALLEN, 2000; SUN; YANG, 2003; FERNANDES et al., 2006), como por exemplo, óleo (MATHAVAN; VIRARAGHAVAN, 1989), metais (FERNANDES et al., 2004), pesticidas (TOLLER; FLAIM, 1988) e corantes (FERNANDES et al., 2006) e também como adubo orgânico, como fonte de substâncias húmicas (ROSA et al., 2005). Sua aplicação em diferentes usos se dá devido à existência de grupos funcionais, tais como carboxílicos e fenólicos, de grande reatividade que atuam nas reações de troca iônica, o que faz com que o potencial de adsorção das turfas para sólidos específicos, tais como metais (sítios positivos) e moléculas orgânicas polares, seja muito alto (BROWN; GILL; ALLEN, 2000).

### **1.2.5 Importância das substâncias húmicas nos solos**

A matéria orgânica (MO) encontrada no meio ambiente natural é de grande importância para os processos geoquímicos tais como solubilização, especiação e na redução da toxicidade dos metais e poluentes em sistemas naturais (ROUBEUF;

MOUNIER; BENAÏM, 2000). A MO nos solos pode ser encontrada como particulada e dissolvida e são provenientes de turfas, sedimentos e águas naturais, formada por uma mistura de compostos contendo grupos aromáticos, alifáticos, fenólicos e quinólicos com uma variedade de propriedades e tamanho molecular. Estes compostos se originam a partir de diversas transformações, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos de diversas naturezas e por uma transformação contínua, sob a ação de fatores físicos, químicos e biológicos. Além disso, o tamanho, a composição química, a estrutura, os grupos funcionais e as características polieletrólíticas da MO podem variar significativamente, dependendo da fonte e estágio de decomposição do material de origem (CHIEN; MENON, 1995).

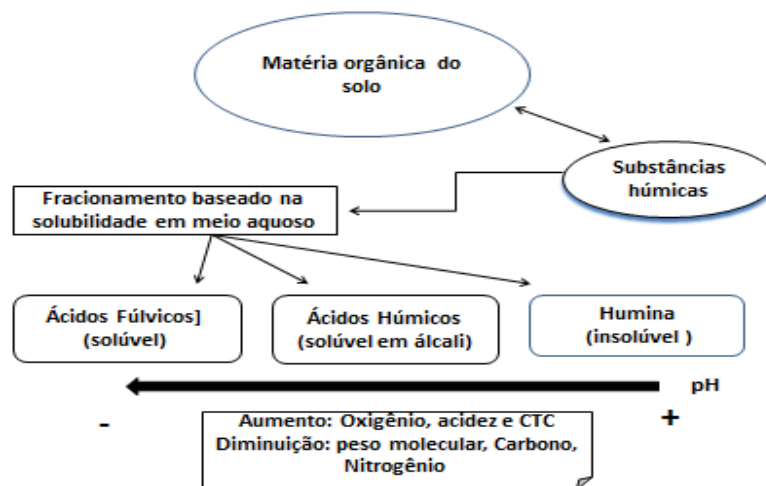
Dois principais grupos caracterizam a matéria orgânica do solo (MOS): as substâncias não húmicas e as substâncias húmicas (SH). O primeiro grupo é considerado relativamente pequeno, e representa cerca de 10 a 20% da MOS total, e são constituídas de moléculas de baixa massa molar e de características químicas bem definidas, tais como carboidratos, proteínas, aminoácidos, gorduras, resinas, pigmentos, ácidos graxos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular. O segundo grupo é classificado como sendo o principal componente da MOS (80-90%) e está onipresente nos diferentes ambientes (ROSA et al., 2005).

As SH's são as principais responsáveis pelos inúmeros processos físicos e químicos que ocorrem com participação MOS (EYHERAGUIBEL; SILVESTRE; MORARD, 2008). A SH é um conjunto de moléculas que possuem massa molar variável, coloração amarelada a preta e solubilidades diferenciadas em meio alcalino e ácido (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003). Em grande parte, são formadas por reações secundárias de síntese, assim, organismos vivos não as produzem diretamente. As SH's distinguem-se no solo ou em sedimentos em razão de apresentarem características diferentes dos compostos que lhes deram origem, ou seja, eles são originados de biopolímeros de microrganismos ou de plantas, ou de processos de síntese e ressíntese mediados pelos organismos decompositores do solo (EYHERAGUIBEL; SILVESTRE; MORARD, 2008). Se dividem em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas de acordo com a solubilidade (Figura 2). As frações de ácido húmico e ácido fúlvico são misturas heterogêneas de moléculas



polidifusas, com intervalos de massa molar variando de algumas centenas até milhões de g/mol (ZHOU; YAN; GU, 2005).

A MOS e suas diferentes formas contribuem para a fertilidade do solo, portanto, é importante conhecer suas principais frações e compartimentos, assim como suas funções no solo (CORRÊA et al., 2005). Segundo Stevenson (1994), o termo “matéria orgânica do solo” ou “húmus” refere-se ao conteúdo total de matéria orgânica viva e morta, incluindo a biomassa



**Figura 2.** Esquema de fracionamento do material orgânico e das substâncias húmicas presentes no solo (ROSA et al., 2005)

O papel das substâncias húmicas na adsorção de fósforo tem sido muito discutido nos últimos anos, e resultados de pesquisas evidenciam que estes componentes orgânicos podem diminuir ou aumentar a capacidade do solo em adsorver fósforo (GUPPY et al., 2005). A redução da adsorção de fósforo tem sido atribuída ao aumento da competição entre ânions orgânicos e o fosfato pelos sítios de adsorção de fósforo, e pela formação de camadas de húmus ao redor dos óxidos de Fe e Al, diminuindo o poder de adsorção desses óxidos (AQUINO, 2004).

Segundo Cessa et al. (2009), produtos resultantes da decomposição da MO, como ácidos orgânicos e húmus, possuem a capacidade de formar complexos com os óxidos de ferro e alumínio, o que evita a sua disponibilidade para a fixação de P. Andrade et al. (2003), ao pesquisarem o efeito da aplicação de resíduos orgânicos na adsorção de P, concluíram que a adição de MO reduziu a fixação de P nos solos avaliados. Alguns trabalhos têm indicado a existência de correlações positivas entre

o teor de MOS e a adsorção de P em razão principalmente do caráter aniônico da MOS, que possibilita a formação de pontes de cátions com o Al, Fe e Ca a ela adsorvidos e, por meio dessas pontes, o fósforo seria adsorvido (MOREIRA et al., 2006).

### **1.2.6 Adubação fosfatada e matéria orgânica em diferentes solos**

A interação entre o fósforo e a MO, pode ser avaliada por meio da adsorção de P após a incorporação da MO no solo. De acordo com Fontes; Weed; Bowen (1992), o aumento na capacidade de adsorção de P em profundidade nos solos está diretamente relacionado à redução dos teores de MO, pois há menores quantidades de ácidos húmicos e outros ânions capazes de bloquear a superfície dos óxidos. Dentre vários estudos que comprovam a redução na adsorção de P devido à incubação de MO pode-se citar os resultados de Nziguheba et al. (1998), que compararam a influência da MO de elevado teor de nutrientes (resíduos de Girassol 0,27% P e 3,8% N) e de baixo teor de nutrientes (resíduos de milho 0,07% P e 0,64% N) na adsorção de P, os resultados deste estudo mostram que, os resíduos de girassol com elevado teor de P e rápida liberação de P inorgânico reduziu significativamente a adsorção de P, com efeito prolongado por quatro meses.

Para Corrêa et al. (2005), restos culturais de milho, com 25% do teor de P do girassol e adicionado 4 vezes a mais para manter igual adição de P, não teve efeito na capacidade de adsorção de P. Desta forma, resíduos de MO de elevada qualidade, facilmente mineralizável, pode rapidamente reduzir a adsorção de P em solos altamente intemperizados.

Na adsorção competitiva entre os ácidos húmicos ou fúlvicos e o fosfato, em amostras de dois solos tropicais, Sibanda e Young (1986) encontraram redução na adsorção de fosfato, quando a concentração de ácidos húmicos foi elevada de 4 para 30 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico, o que equivale a um aumento de 7,2 a 52 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica no solo. Entretanto, segundo esses autores, essa eficiência não se deve, exclusivamente, à adsorção dos grupos carboxílicos, mas também, do grande poder de complexação dos ácidos húmicos sobre o Fe e o Al na solução do solo, podendo reduzir a adsorção/precipitação de fosfato.

Matias (2010) observou que a adição de substâncias húmicas aumenta a disponibilidade do P no solo para a cultura de milho sob dois tipos de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo, utilizando-se duas fontes de fósforo (superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Arad) e fontes de substâncias húmicas (ácidos orgânicos e turfa). Os resultados demonstram que a adição de substâncias húmicas aumentou a disponibilidade de P, e o aumento da eficiência agrônômica relativa, após a adição de turfa, foi maior para o fosfato natural reativo, quando comparado ao superfosfato triplo.

Cessa et al. (2010) após avaliar a adição de ácidos fúlvicos incubados em solos de textura média/argilosa Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) observaram que a sua presença foi capaz de diminuir a capacidade de adsorção do fósforo na fração argila, aumentando a disponibilidade deste nutriente no solo. Os resultados da capacidade máxima de adsorção do fósforo (CMAP) foram influenciadas pela sequência de incubação em presença de ácidos fúlvicos no solo LVd e pouca influenciada em no solo LVdf.

Gomes et al. (2005) estudando interação de adubação orgânica e mineral na cultura do milho cultivado em Argissolo Vermelho Amarelo verificaram que esta interação na adubação propicia alterações nas condições físicas e químicas do solo, com consequente efeito na produtividade da cultura. A adubação orgânica promoveu incremento nos componentes de produção do milho. Além disto, a utilização do composto orgânico propiciou aumento dos níveis de carbono orgânico, cálcio, magnésio, potássio e fósforo do solo.

Fernandez (1995) observou que em solos mais oxídicos com grande CMAP, a adição prévia de sacarose aumenta o valor do P remanescente, correspondendo a uma diminuição desta capacidade de adsorção. Para Matias (2010), o efeito da MO no bloqueio dos sítios de adsorção de fosfato é transitório, porém, na prática, tal efeito pode ser vantajosamente explorado, considerando o tempo de aplicação do fertilizante fosfatado. Esse efeito transitório deve-se à rápida mineralização de alguns ácidos orgânicos, liberando sítios de adsorção. Contudo, experimentos recentes têm mostrado que a adsorção de citrato em hidróxidos de Fe diminui a sua degradação e o efeito no bloqueio dos sítios de adsorção pode perdurar por mais tempo (CESSA et al., 2009).

Demattê (2005), considerando uma produção, ao longo de cinco colheitas, de 400 toneladas de cana-de-açúcar, fez um cálculo sobre o balanço de fósforo no solo, utilizando uma dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no plantio, determinou uma extração de 0,43 kg de fósforo por tonelada de massa verde e fixação de fósforo de 30%. Nesse balanço constatou-se déficit de fósforo, que deveria ser repostado nas soqueiras. O pesquisador atenta, ainda, para que a acidez do solo nas soqueiras seja monitorada e que, a saturação por bases (V%) seja sempre maior que 40%, caso contrário, não haverá resposta ao fósforo adicional colocado no solo em socaria.

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de novos resultados de pesquisas que avaliem a interação entre matéria orgânica e fósforo, os quais atribuem a redução na adsorção de P à adição de MO ao solo. Além disso, os efeitos de diferentes fontes em doses de extrato de turfa na eficiência agrônômica de cana-planta e cana-soca foram pouco explorados em pesquisas. Considerando a baixa eficiência da adubação fosfatada nos solos tropicais, estudos nesta linha podem trazer informações importantes à literatura existente, sobre a participação das substâncias húmicas no aumento da disponibilidade de P, bem como, na comparação da eficiência de diferentes fontes de P e a absorção de P pela cultura de cana-de-açúcar.

### 1.3 Referências

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-PB, v. 15, n. 10, p. 1004–1013, 2011.

ALVAREZ, R.; ARRUDA, H. V.; WUTKE, A. P. C. Adubação de cana-de-açúcar. Experiência com diversos fosfatos. *Bragantia*, Campinas-SP, v. 24, p. 1-8, 1965.

ANDA: Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2011, p. 12-47.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V. H.; NOVAIS, R. F. Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 27, p.1003-1011, 2003.

AQUINO, B. F. **Conceitos fundamentais em fertilidade do solo**. Fortaleza: UFC, 2004, p. 97-112. Apostilas Didáticas.

BENITES, V. M.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003, p. 5-7 (Comunicado Técnico, 16).

BOLONHEZI, A. C.; FERNANDES, F. M.; TEIXEIRA, E. B.; VALÉRIO FILHO, W. V., SCHMITZ, G. A. F. Substâncias húmicas aplicadas no sulco de plantio de duas variedades de cana-de-açúcar. In: VII encontro brasileiro de substâncias húmicas – EBSH, Florianópolis-SC, *Anais...*, 2007, v.13, p. 70-72.

BOLAN, N. S.; WHITE, R. E.; HEDLEY, M. J. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Melbourne, v. 30, p. 297-313, 1990.

BROWN, P. A.; GILL, S. A.; ALLEN, S. J. Metal removal from wastewater using peat. *Water Research*, London, v. 34, p. 3907-3916, 2000.

CESSA, R. M. A. C.; CELI, L.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; BARBERIS, E. Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos Vermelho. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa-MG, v. 33, p.1153-1162, 2009.

CESSA, R. M. A. C.; CELI, L.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 34, n. 5, p. 1535-1542, 2010.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES; I. B.; MENDES J. S. Adsorção de fósforo em materiais de Latossolo e Argissolo. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 20, n. 3, p. 104-111, 2007.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertily Research**, Melbourne, v. 41, p. 227-234, 1995.

COCOZZA, C.; D'ORAZIO, V.; MIANO, T. M.; SHOTYK, W. Characterization of solid and aqueous phases of a peat bog profile using molecular fluorescence spectroscopy, ESR and FT-IR, and comparison with physical properties. **Organic Geochemistry**, Philadelphia, v. 34, p. 49-60, 2003.

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, primeiro levantamento, abril 2013. Brasília: Conab. 2013. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_08\\_08\\_09\\_39\\_29\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_abril\\_2013\\_1o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf). Acesso em: 03 nov 2013.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja: influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 39, n. 12, p. 1231-1237, 2004.

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

DANTAS NETO, J.; FIGUEIREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, C. A. V de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DAROUB, S. H.; PIERCE, F. J.; ELLIS, B. G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no-tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v.64, n.1, p.170-176, 2000.

DEMATTE, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 48-59, 2004.

DEMATTE, J. L. I. Cultura da cana-de-açúcar: recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Encarte de Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 1, n. 111, 24 p.

EYHERAGUIBEL, B.; SILVESTRE, J.; MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. **Bioresourse Technology**, Philadelphia, v. 99, p. 4206 - 4212, 2008.

FERNANDES, A. N.; MENEZES, C. T. B.; LEAL FILHO, L. S.; SIERRA, M. M. D. Estudos de aplicação da turfa para a remoção de metais de efluentes contaminados. In: **Anais do XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Florianópolis-SC, 2004. p. 523-530.

FERNANDES, A. N.; GIOVANOLA, M.; SORIANO-SIERRA, E. J.; SIERRA, M. M. D. Acidity data on humic substances from distinct environments: methodology considerations. **Journal of Coastal Research**, Durban, v. 39, p. 1062-1065, 2006.

FERNANDEZ, I. E. J. **Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995. 94p.

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

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

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

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

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, 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-MG, v. 34, p. 618-624, 2010.

GOMES, J. A.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A.de L.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SAGRILO, E.; MORA, F. Adubações orgânica e mineral, produtividade do milho e características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá-PR, v. 27, n. 3, p. 521-529, 2005.

GULLO, M. J. M. **Uso de condicionadores de solo a base de ácido húmico na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Piracicaba, 2007. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração: Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2007.

GUPPY, C. N.; MENEZIES, N. W.; BLAMEY, F. P. C.; MOODY, P. W. Do decomposing organic matter residues reduce phosphorus sorption in highly weathered soils? **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p.1405-1411, 2005.

HOLFORD, I. C. R. Soil phosphorus; its measurement, and its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 35, n. 2, p. 227-239,1997.

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

KLIEMANN, H. J.; LIMA, D. V. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 1, n. 2, p. 111-119, 2001.

KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 16, n. 2, p. 217-222, 1992.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: Yamada, T., Abdalla, S. R. S (ed.). In: Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira, 2004, São Pedro.



**Anais** de São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e do Fosfato, 2004, p. 291-305.

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

LIMA, S. A. A.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. R.; SOUZA, C.; CAVALCANTE, F. S. Influência da adubação mineral sobre três cultivares de cana-de-açúcar na microrregião de Guarabira na Paraíba. **Agropecuária Técnica**, Areia-PB, v. 27, n. 1, p. 92-99, 2006.

LOPES, A. S.; GUIMARÃES, L.R. Fertilizantes e corretivos agrícolas; sugestões de manejo para uso eficiente. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Piracicaba, 1992. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1992, p. 39-69.

MALAVOLTA, E. **Absorção, transporte e redistribuição**. In: MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres, 2006. p. 57 – 125.

MARQUES, M. O. **Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça**. In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006, p. 369-375.

MATHAVAN, G. N.; VIRARAGHAVAN, T. Use of peat in the treatment of oily waters. **Water, Air & Soil Pollution**, New York, v. 45, p. 17-26, 1989.

MATIAS, G. C. S. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**. Piracicaba, 2010. 174 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, R.D.; BISSINI, C. A. **Fenômenos de sorção em solos**. In: MEURER, E. J. Fundamentos da química do solo. Porto Alegre-RS: Genesis, 2012, p. 113- 153.

MOREIRA, F. L. M.; MOTA, F. O. B.; CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, B. M.; BOMFIM, G. V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza-CE, v. 37, n. 1, p. 7-12, 2006.

NOVAIS, F. R.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999, p. 175-181.

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

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

PALHARIM, A. Avaliação do desempenho do fosfato natural reativo de Arad e fosfato natural reativo de Arad + enxofre na cultura da cana-de-açúcar. São Paulo: **Fertilizantes Ouro Verde**, 2007, 10 p. (Boletim Técnico, Série Culturas Perenes, n. 4).

PENATTI, C. P.; CAMBRIA, S.; BONI, P. S.; ARRUDA, F. C. DE O.; MANOEL, L. A. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio em soqueiras de cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, Piracicaba, v. 44, p. 32-38, 1988.

PROCHNOW, L. I; ALCARDE, J. C; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato. 2004. p. 605-663.

ROSA, A. H.; OLIVEIRA, L.C.; BELLIN, I. C.; ROCHA, J. C.; ROMÃO, L. P. C.; FILHO, N. L. D. Influence of alkaline extraction on the characteristics of humic substances in Brazilian soils. **Thermochimica Acta**, Philadelphia, v. 433, p. 77-82, 2005.

ROSATO, M. M, BOLONHEZI, A. C., FERREIRA, L. H. Z. Substâncias húmicas sobre qualidade tecnológica de variedades de cana-de-açúcar. **Scientia Agrária**, Piracicaba-SP, v.11, n. 1, p. 43-48, 2010.

ROSSETTO, R; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Problemas nutricionais dos solos nas novas fronteiras canavieiras. **Idea News**, Ribeirão Preto-SP, v. 8, n. 94, p. 78-90, 2008.

ROUBEUF, V.; MOUNIER, S.; BENAÏM, J. Y. Solid phase extraction applied to natural waters: efficiency and selectivity. **Organic Geochemistry**, Philadelphia, v. 31, p. 127-131, 2000.

SANTOS, V. R. dos; MOURA FILHO, G; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V. da; SANTOS, C. G. dos; SANTOS, A. C. I. dos. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 13, n. 4, p. 389–396, 2009.

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

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

SELBACH, J. F.; LEITE, J. R. S. A. **Meio ambiente no Baixo Parnaíba: olhos no mundo, pés na região.** v.1. São Luís: EDUFMA, 2008, p. 17-29.

SIBANDA, H. M.; YOUNG, S. D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **Journal Soil Science**, New Brunswick, v. 37, p. 197-204, 1986.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions.** 2. ed. New York: Wiley, 1994, p. 41-45.

SUN, Q.; YANG, L. The adsorption of basic dyes from aqueous solution on modified peatresin particle. **Water Research**, London, v. 37, p. 1535-1544, 2003.

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. A.; NOBILE, F. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.27, n.1, p.276-283, 2007.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas-SP, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba-SP: Potafós, 2002. 16 p.

ZHOU, P.; YAN, H.; GU, B. Competitive complexation of metals ions with humic substances. **Chemosphere**, Kidlington, v. 58, p. 1327-1337, 2005.

## **CAPÍTULO 2 - Fontes fosfatadas e substâncias húmicas na disponibilidade de fósforo em Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho-Amarelo**

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi avaliar a interação entre doses de extrato de turfa enriquecido com substâncias húmicas e fontes de fósforo na disponibilidade de P em diferentes classes de solos. O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal do Maranhão/UFMA, Campus Chapadinha-MA-Brasil. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4x5, com três repetições, em dois solos: Neossolo Quartzarênico Órtico e Argissolo Vermelho-Amarelo, quatro fontes de P: superfosfato triplo (SFT), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR), fosfato monoamônico (MAP), com dose constante de P ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e cinco doses de turfa (0, 100, 200, 400 e  $800 \text{ L ha}^{-1}$ ). A unidade experimental foi constituída por um recipiente plástico preenchido com 200 g de solo incubado por 30 e 60 dias, e em cada época realizou-se amostragem do solo determinando-se P-resina, matéria orgânica e valor pH. As doses de extrato de turfa incrementaram o teor de matéria orgânica e de P disponível, independente do solo ou da fonte de P empregada. A presença de substâncias húmicas proporcionou aumento na disponibilidade de P em todas as fontes estudadas na sequência MAP>SFT>SFS>FNR. O maior teor de P disponível foi encontrado no Neossolo em relação ao Argissolo. A dose do extrato de turfa que proporcionou maiores incrementos dos teores de P nos solos pelas fontes fosfatadas variou entre 500 a  $580 \text{ L ha}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** Adsorção de fósforo, fósforo disponível, matéria orgânica, extrato de turfa, efeito residual.

## Phosphorus sources and peat on phosphorus availability in a Quatzisamment and Kandiudult

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the interaction between doses of peat, sources of phosphorus and soil classes in the availability of P soil. This study was conducted at the Federal University do Maranhão / UFMA campus Chapadinha-MA-Brazil. We adopted a completely randomized design in a factorial 2x4x5, with three replications, in Quatzisamment and Kandiudult four P sources: triple superphosphate (TSP), simple superphosphate (SSP), rock phosphate (RP), monoammonium phosphate (MAP), with constant dose of P ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ) and five doses of peat (0, 100, 200, 400, 800 L ha<sup>-1</sup>). The experimental unit consisted of a plastic container filled with 200 g of soil incubated for 30 and 60 days each season held soil sampling by determining resin-P, organic matter and pH. The doses of extract of peat incremented the available content of P and organic matter, independent of soil or source used. The presence of humic substances resulted in higher P availability in all studied following MAP>TSP>SSP>RP sources. The higher content of available P was found in Quatzisamment in the Kandiudult. The dose of the extract of peat which provided greater increases in the levels of P in soils by phosphate sources ranged from 500-580 L ha<sup>-1</sup>.

Keywords: Adsorption of phosphorus, available phosphorus, organic matter, extract peat, residual effect.

## 2.1 Introdução

O fósforo (P) absorvido pelas plantas origina-se da solubilização de minerais fosfatados e da mineralização da matéria orgânica (Schumacher et al., 2003). Este nutriente tem importante função nas plantas como constituinte de compostos armazenadores de energia como ATP, onde é utilizado para germinação, fotossíntese e síntese de vários compostos orgânicos (Malavolta, 2004). Desse modo, limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo com aumento o suprimento de P a níveis adequados (Gatiboni et al., 2007).

Neste contexto, é necessário manejo adequado do solo para aumentar e manter a disponibilidade de P para as plantas. Então, para atender a necessidade de P das plantas é importante o uso adequado de adubação, especialmente em solos tropicais que normalmente apresentam baixo teor de P disponível, pois esta disponibilidade é afetada por adsorção, através da complexação do P com coloides de Fe e Al em solos ácidos e precipitação com Ca em solos calcários (Fernandes et al., 2006). Uma forma de minimizar a deficiência de P é a utilização de fontes fosfatadas de elevada solubilidade, pois estas apresentam maior eficiência em curto espaço de tempo (Novais et al., 2007). Porém, os fosfatos naturais reativos têm a capacidade de liberar P de forma progressiva e contínua, com maior efeito residual, menos sujeito à adsorção, portanto, mais eficiente em culturas perenes (Novais et al., 2007).

Outra forma que vem sendo utilizado para melhorar o aproveitamento do P pela planta é associar o uso do fertilizante fosfatado com adubos orgânicos (Abolfazli et al., 2012). Um desses adubos é a turfa, considerada como condicionador orgânico de origem exclusivamente natural que apresenta em média 80% de matéria orgânica (MO) em sua composição (Rosa et al., 2005). A quantidade de MO destes materiais orgânicos proporciona incremento de substâncias húmicas (SH) no solo, o que pode minimizar o processo de adsorção de P (Matias, 2010).

Segundo Cessa et al. (2010) a adição de SH proporciona para solução do solo maiores teores de ácidos húmico e fúlvico, que conseqüentemente, aumenta as cargas negativas, o que aumenta a competição por cargas positivas e cumpre um papel fundamental na disponibilidade de P no solo.

Adicionalmente, as SH's melhoram a estrutura do solo, aumentam a produtividade e a qualidade dos cultivos, disponibilizam P adsorvido na fração argila, aumentam a CTC e o efeito tampão, o que promove maior estabilidade ao solo e atuam também como reservatório de N, P, S e micronutrientes (Basamba et al., 2006). Neste contexto, as SH's são, portanto, importantes reguladores funcionais dos processos químicos e biológicos do solo e das plantas, representando, por isso, um forte fator para a sustentabilidade dos ecossistemas terrestres (Moreira; Siqueira, 2006).

Guppy et al. (2005) demonstraram que a adição de SH's no solo pode também apresentar resultados antagônicos a respeito da disponibilidade de P e absorção deste nutriente pela planta, pois dependendo da concentração destas SH's e do pH do solo esta interação pode proporcionar resultados antagônicos na disponibilidade de P. Em estudos com mudas de eucalipto, Pinheiro et al. (2010) mostraram que o aumento na concentração de ácido húmico no solo provocou redução linear da altura e do diâmetro do caule desta cultura em solos do sudeste. Porém, Gullo (2007) obteve aumento significativo na produtividade de cana-de-açúcar e MO quando associou adubação mineral a um extrato comercial proveniente da turfa com alta concentração de ácido húmico, em solo arenoso de baixa fertilidade.

Nesse aspecto, são necessários mais estudos sobre o uso de SH's, para que seja avaliado o seu comportamento em relação à disponibilidade P em diferentes solos. Considerando que pode existir efeito positivo na aplicação de SH na disponibilidade de P, essas informações poderão utilizadas em plantio, de forma que possa melhorar a absorção deste nutriente e conseqüentemente o desempenho na produtividade de culturas. Dessa forma com o presente estudo objetivou-se avaliar os efeitos da associação de fontes de P com doses de extrato de turfa, na disponibilidade de P em solos com capacidades de adsorção diferentes.

## 2.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais CCAA/ UFMA, no município de Chapadinha-MA, no leste maranhense a 3° 44' S, 43° 21' W e 110m de altitude. Utilizaram-se amostras de Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVA<sub>d</sub>) com textura média/média classificados de acordo com metodologia descrita em Embrapa (2013).

Antes da instalação do experimento realizou-se amostragem dos solos na camada de 0-20 cm de profundidade, em seguida foi realizada a análise química das amostras dos solos para fins de fertilidade conforme metodologia descrita em Raij et al. (2001), e granulométrica de acordo com Embrapa (1997), e foram obtidos os seguintes resultados, como mostra a Tabela 1.

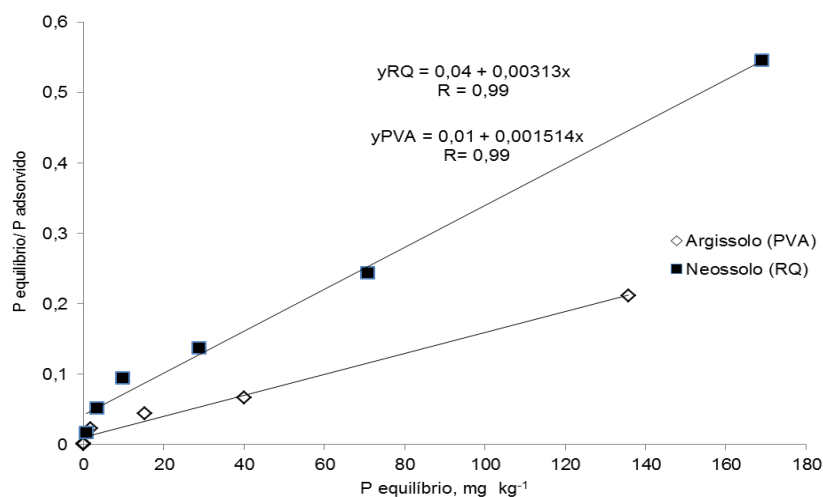
**Tabela 1.** Caracterização dos atributos físicos e químicos do Neossolo Quartzarênico (RQ) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), na profundidade 0 - 20 cm

SOLOS	Atributos químicos											
	pH	P	MO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	SB	CTC	V	m
	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							%	
Neossolo	4,0	5	17	8	3	0,3	0,9	15	11,3	26,3	43	8
Argissolo	4,1	6	19	19	10	0,6	1,7	31	29,6	60,6	49	6
	Granulometria			Micronutrientes								
	Argila	Silte	Areia	Cu	B	Mn	Fe	Zn				
	g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>								
Neossolo	139	91	770	0,1	0,2	0,9	79	0,3				
Argissolo	185	204	611	0,1	0,3	3,6	136	0,7				

P= fósforo disponível por Resina; MO = matéria orgânica; SB= soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por base; m = saturação por alumínio.

A capacidade máxima de adsorção do fósforo (CMAP) foi obtida pelo método descrito por Olsen e Watanabe (1957). Os dados foram ajustados para à equação linear da isoterma de Langmuir,  $C_{eq}/(Q) = 1/ab + C_{eq}/b$ , onde  $C_{eq}$  é a concentração de P em mg L<sup>-1</sup> na solução de equilíbrio, Q é a razão entre a massa de P adsorvido e a massa de solo, em mg kg<sup>-1</sup>, **a** uma constante relacionada com a energia de retenção dos íons e **b** a adsorção máxima de P (Figura 1). Encontrou-se CMAP = 319 mg kg<sup>-1</sup> para o Neossolo e CMAP = 660 mg kg<sup>-1</sup> para o Argissolo.





**Figura 1.** Relação do fósforo em equilíbrio e adsorvido em função do fósforo em equilíbrio na solução para a determinação da capacidade máxima de adsorção de P no Neossolo Quartzarênico (RQ) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), determinada por ajuste da equação da isoterma de Langmuir

Para a instalação do experimento, foram coletadas amostras dos dois solos, peneiradas e condicionadas em vaso (20 kg) para incubação preliminar. Após 30 dias, preencheram-se os frascos plásticos (copo descartável) com 200 g de solo. Em cada frasco foi incorporado  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de N (ureia - 44%) e  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de K (cloreto de potássio - 60% de  $\text{K}_2\text{O}$ ). As adubações com cobre e zinco foram feitas adicionando-se  $5 \text{ mg kg}$  de cada micronutrientes. A umidade do solo foi mantida a 70% da capacidade de campo, mediante regas diárias com água destilada durante todo o experimento (Embrapa, 1997).

Os frascos foram arranjados em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial  $2 \times 4 \times 5$  com três repetições. Os tratamentos foram a combinação de dois solos (Neossolo e Argissolo), quatro fontes fosfatadas e cinco doses do extrato de turfa (0, 100, 200, 400 e  $800 \text{ L ha}^{-1}$ ). Em seguida os solos foram incubados por um período de 30 e 60 dias para posterior análise.

As fontes de fósforo utilizadas neste experimento foram caracterizadas segundo Brasil (2006), sendo elas: superfosfato simples – SFS (16% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em água e 18% solúvel em solução de citrato de amônio + água); superfosfato triplo – SFT (37% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em água e 41% solúvel em solução de citrato de amônio + água); fosfato monoamônico – MAP (44% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em água e 48% solúvel em solução de citrato de amônio + água); fosfato natural reativo

de Bayóvar – FNR (29% de fósforo total, 14% de  $P_2O_5$  solúvel em solução de ácido cítrico a 2%, contém ainda 32% de cálcio). Foi incorporado ao solo  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de P em cada frasco, calculado a partir da solubilidade de cada fonte em citrato de amônio ou ácido cítrico.

Como fonte de substâncias húmicas, utilizou-se um extrato líquido de turfa comercial cedido pela Empresa Porto Branco S.A, com a seguinte caracterização química e física: densidade do extrato da turfa =  $1,04 \text{ g dm}^{-3}$ , densidade a base seca =  $0,21 \text{ g dm}^{-3}$ , pH 5,3, CTC =  $420 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , matéria orgânica =  $770 \text{ g dm}^{-3}$ ,  $74,1 \text{ g L}^{-1}$  de ácido fúlvico,  $53,4 \text{ g L}^{-1}$  de ácido húmico,  $0,75 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo solúvel. O extrato de turfa foi aplicado na superfície do solo com pipeta em seguida.

Após 30 e 60 dias de incubação, amostras de cada frasco foram coletadas para determinação do P-resina, matéria orgânica e valor de pH em  $\text{CaCl}_2$  (Raij et al., 2001). Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade, e em seguida realizaram-se estudos de regressão polinomial para avaliar o efeito das doses nas variáveis estudadas, empregando-se o software AgroEstat (Barbosa; Maldonado Jr., 2011).

## 2.3 Resultados e discussão

Houve interação para a variável pH nos dois períodos de incubação dentro do solo. Esta variação no solo provavelmente se deu devido ao efeito da solubilização dos fertilizantes ou por causa da adição do extrato de turfa que proporciona liberação de substâncias húmicas para o meio aquoso, provocando reações com o  $H^+$  do solo (Tabela 2).

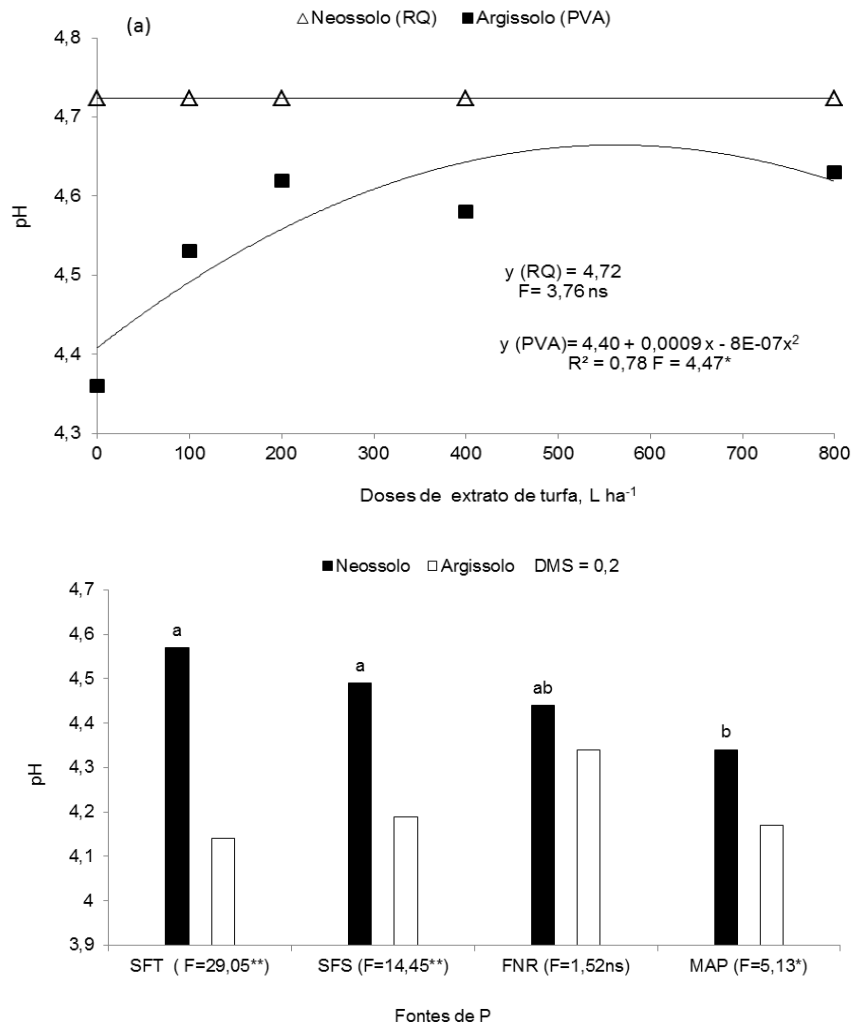
**Tabela 2.** Valor de pH, matéria orgânica (MO) e P disponível em função dos solos, fontes de P e doses de turfa nos períodos de 30 e 60 dias de incubação do solo

Tratamentos	30 dias			60 dias		
	pH CaCl <sub>2</sub>	MO (g dm <sup>-3</sup> )	P <sub>disponível</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	pH	MO (g dm <sup>-3</sup> )	P <sub>disponível</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )
<b>Solo (S)</b>						
Neossolo	4,7	26,08	62,49	4,5	27,72	74,60
Argissolo	4,5	27,39	51,15	4,2	24,08	67,67
Teste F	27,85**	1,06 ns	33,74**	40,25**	9,75**	9,30**
<b>Fonte (F)</b>						
SFT	4,6 b	25,95	51,89 b	4,4	25,37	75,50 a
SFS	4,7 a	26,79	55,38 b	4,3	27,32	72,94 a
FNR	4,6 b	27,08	44,78 c	4,4	24,94	56,00 b
MAP	4,6 b	27,14	75,05 a	4,3	25,00	80,16 a
Teste F	4,47**	0,18 ns	44,67**	2,07 ns	0,79 ns	21,63**
<b>Doses do extrato de turfa (D), L ha<sup>-1</sup></b>						
0	4,6	16,93 c	43,27 c	4,4	15,49	54,74 c
100	4,6	20,73 c	52,88 b	4,3	18,74	69,53 b
200	4,7	26,61 b	61,16 ab	4,3	25,66	78,06 a
400	4,6	33,19 a	68,52 a	4,3	32,39	83,52 a
800	4,6	36,23 a	58,06 b	4,4	37,22	69,80 b
Teste F	0,59 ns	32,22**	18,96**	1,73 ns	48,56**	18,41**
S x F	1,24 ns	0,36 ns	8,87**	3,30*	0,65 ns	2,79*
S x D	6,07**	0,29 ns	0,43 ns	0,95 ns	2,81*	0,15 ns
F x D	1,13 ns	0,37 ns	0,35ns	1,23 ns	0,71 ns	0,48ns
S x F x D	0,69 ns	0,26 ns	0,74ns	1,29 ns	0,74 ns	0,30ns
CV(%)	4,2	26,2	18,7	5,0	24,6	17,5

(SFT = superfosfato triplo, SFS = superfosfato simples, FNR = fosfato natural reativo, MAP = fosfato monoamônico), ns: não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \* significativo ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas na coluna comparam o valor pH, P disponível isoladamente dentro das fontes, MO e P disponível isoladamente dentro das doses de extrato de turfa e fontes de P.

Para o desdobramento da interação solo e dose do extrato de turfa para a variável pH aos 30 dias de incubação, mostra que o resultado do pH no Neossolo foi constante e o Argissolo apresentou efeito significativo com ajuste quadrático (Figura 2a), porém, o ponto de máximo de pH encontrado é menor que o valor constante encontrado no Neossolo (Figura 2a). Aos 60 dias de incubação, houve

diferença entre os valores de pH para as fontes de P no Neossolo. Já no Argissolo, não houve variação significativa do pH (Figura 2b).



**Figura 2.** Valor de pH no Neossolo e Argissolo em função das doses de turfa aos 30 dias de incubação (a) e em função das fontes fosfatada aos 60 dias de incubação dos solos (b). ns, não significativo; \*\*significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. (DMS = 0,2): Letras minúsculas comparam o valor de pH nas fontes de P dentro do Neossolo; letras maiúscula comparam o valor de pH nas fontes dentro do Argissolo

Observa-se que os maiores valores de pH foram encontrados no Neossolo (Figura 2). Estes resultados devem estar ligados com a menor capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) deste solo ( $319 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em relação ao Argissolo ( $660 \text{ mg kg}^{-1}$ ), conforme demonstrado pela Figura 1, pois menos íon fosfato adsorvido refletirá em maior quantidade de cargas negativas na solução do solo, e estas cargas interagem com o  $\text{H}^+$  com intuito de manter o equilíbrio, diminuindo

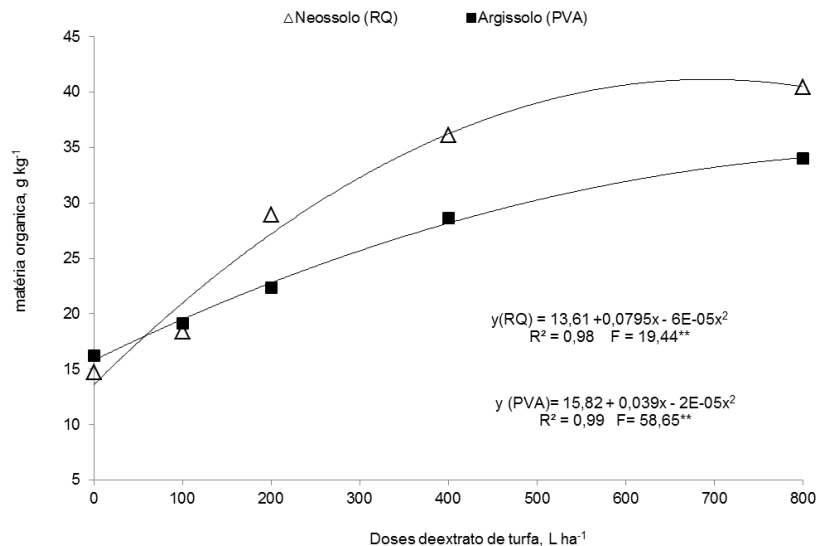
assim a acidez (Silva; Mendonça, 2007). Porém, não houve variação significativa do pH entre os solos para a fonte FNR, isto provavelmente ocorre devido ao processo de dissolução desta fonte que é mais lenta e sua menor solubilidade em relação às demais fontes. Além disso, esta fonte consome  $H^+$  em sua reação de decomposição, o que provoca um efeito tampão, mantendo assim o pH numa faixa constante; processo este que independe do tipo de solo, devido as diferentes características de cada solo.

O mesmo tempo, a presença das substâncias húmicas no solo possibilita a redução da atividade de  $H^+$ , pois, estas moléculas como são ácidos fracos, agem como par conjugado ácido/base, portanto, a diversidade química dos componentes das substâncias húmicas está relacionada com o número de grupamentos funcionais, o que faz com que estes ácidos orgânicos adicionados tenham ação tamponante em uma ampla faixa de  $pH_{CaCl_2}$  (4,0 – 5,0) do solo (Silva; Mendonça, 2007).

Não houve interação entre os fatores para os solos incubados por 30 dias na variável matéria orgânica (Tabela 2). No entanto, houve interação aos 60 dias para esta variável. O desdobramento sugere um ajuste quadrático com efeito significativo para nos dois solos (Figura 3). A dose da turfa de máxima eficiência encontrada foi de  $670 L ha^{-1}$  para o Neossolo, e de  $740 L ha^{-1}$  para o Argissolo, com máximo teor de matéria orgânica encontrada para cada solo de  $40,1 g dm^{-3}$  e  $32,1 g dm^{-3}$ , respectivamente. Nota-se ainda, que o extrato de turfa foi mais eficiente em proporcionar aumento no teor de matéria orgânica no Neossolo, desta forma a maior concentração deste componente orgânico possibilitará maiores incrementos na disponibilidade de P.

Quando se compara a dose de máxima eficiência de matéria orgânica com o tratamento controle (dose  $0 L ha^{-1}$  de extrato de turfa)(Figura 3), observa-se que houve incrementos significativos da quantidade de matéria orgânica nos dois solos. Fato já reportado na literatura por Ourives et al. (2010), em que estes autores relataram que doses de composto orgânico são capazes de proporcionar incrementos nas concentrações de matéria orgânica. Para Almeida Júnior et al. (2011), a elevação da concentração de matéria orgânica ao solo se constitui o principal benefício do uso agrícola de resíduos orgânicos, em razão da sua

contribuição para a melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Então, o aporte deste material orgânico é de fundamental importância para os solos da região Nordeste do Brasil que, naturalmente, apresentam baixos teores de matéria orgânica, o que coloca este extrato da turfa como alternativa para elevação dos teores de matéria orgânica desses solos.



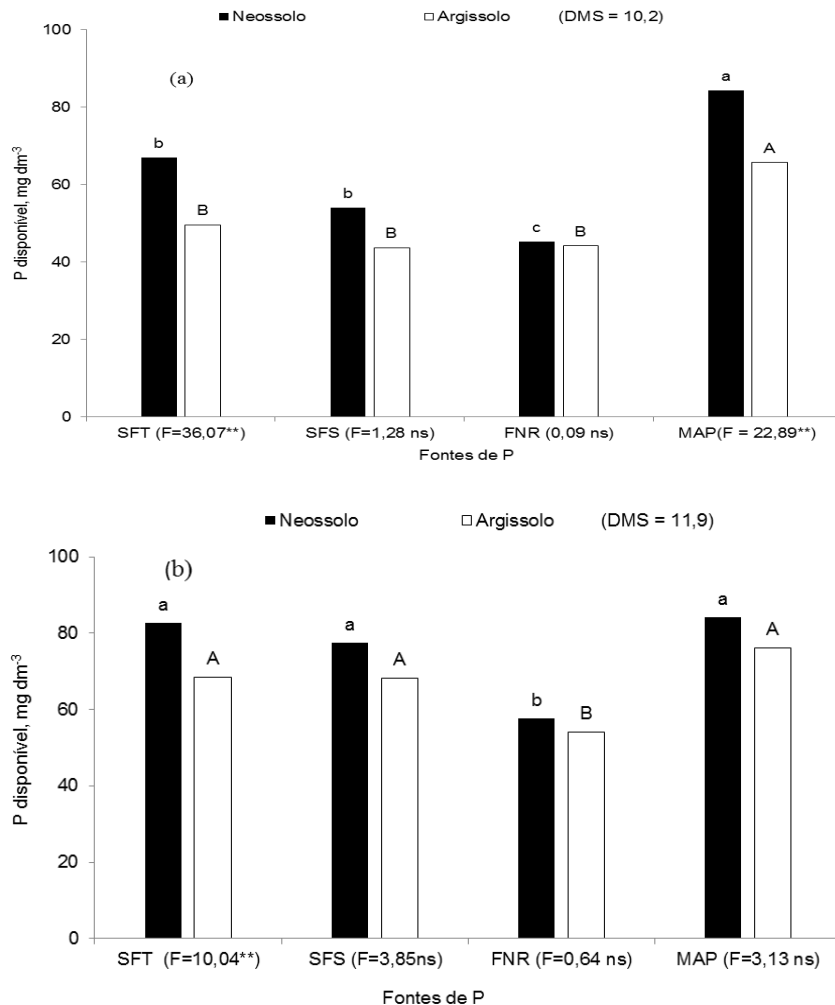
**Figura 3.** Teor de matéria orgânica (MO) no Neossolo (RQ) e Argissolo (PVA) em função das doses de turfa para os solos incubados por 60 dias

Além disto, os ácidos orgânicos, provenientes da matéria orgânica, competem por sítios positivos que normalmente se ligariam com o fosfato, deixando-os disponíveis na solução do solo. Muitos autores atribuem que a matéria orgânica tem papel fundamental na diminuição da adsorção de fósforo em solo argiloso ou arenoso. Para Cessa et al. (2010) e Andrade et al. (2003; 2007), o teor de fósforo disponível aumenta na solução do solo quando a quantidade de substâncias húmicas é aumentada. Santos et al. (2007) relataram que o P disponível e a matéria orgânica estão correlacionados positivamente. Para Bezerra et al. (2009) a matéria orgânica dissolvida na solução do solo favorece o aumento de ligantes livres do ácido húmico, segundo estes autores, os ligantes livres formam complexos estáveis com íons metálicos em meio aquoso, o que diminui as cargas positivas e favorecendo a disponibilidade de P.

Houve interação entre os solos e fontes de P nos dois períodos de incubação para a variável P disponível, demonstrando que existem diferenças intrínsecas de

cada solo que promovem incrementos diferentes na disponibilidade de P quando são submetidos a fontes distintas (Tabela 2).

Para o P disponível em função das fontes de P, aos 30 dias de incubação, houve efeito significativo dentro dos dois solos com maior resposta para o MAP. Também, somente as fontes MAP e SFT apresentaram diferença, com maior teor de P disponível no Neossolo (Figura 4a).



**Figura 4.** Teor de P disponível em função das fontes de P em Neossolo e Argissolo aos 30 dias, DMS=10,2 (a) e aos 60 dias, DMS=11,9 (b) de incubação do solo. ns - não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam as fontes dentro do Neossolo. Letras Maiúsculas comparam as fontes de P dentro do Argissolo

A comparação das médias de disponibilidade de P dentro das fontes de P, aos 60 dias de incubação mostra que os maiores teores de P são proporcionados

pelas fontes solúveis em água (Figura 4b). Nos dois períodos de incubação do solo o FNR não apresentou diferença na disponibilidade de P para os dois solos, isto ocorre provavelmente porque o fosfato natural reativo (FNR) libera P de forma mais lenta e progressiva com o passar do tempo. Esta lenta solubilidade dos fosfatos naturais reativos pode ser uma limitação para culturas que necessitam de P prontamente, mas para culturas perenes ou de ciclos longos, como é caso da cana-de-açúcar, o fósforo liberado pode ser mais bem aproveitado (Horowitz; Meurer, 2004).

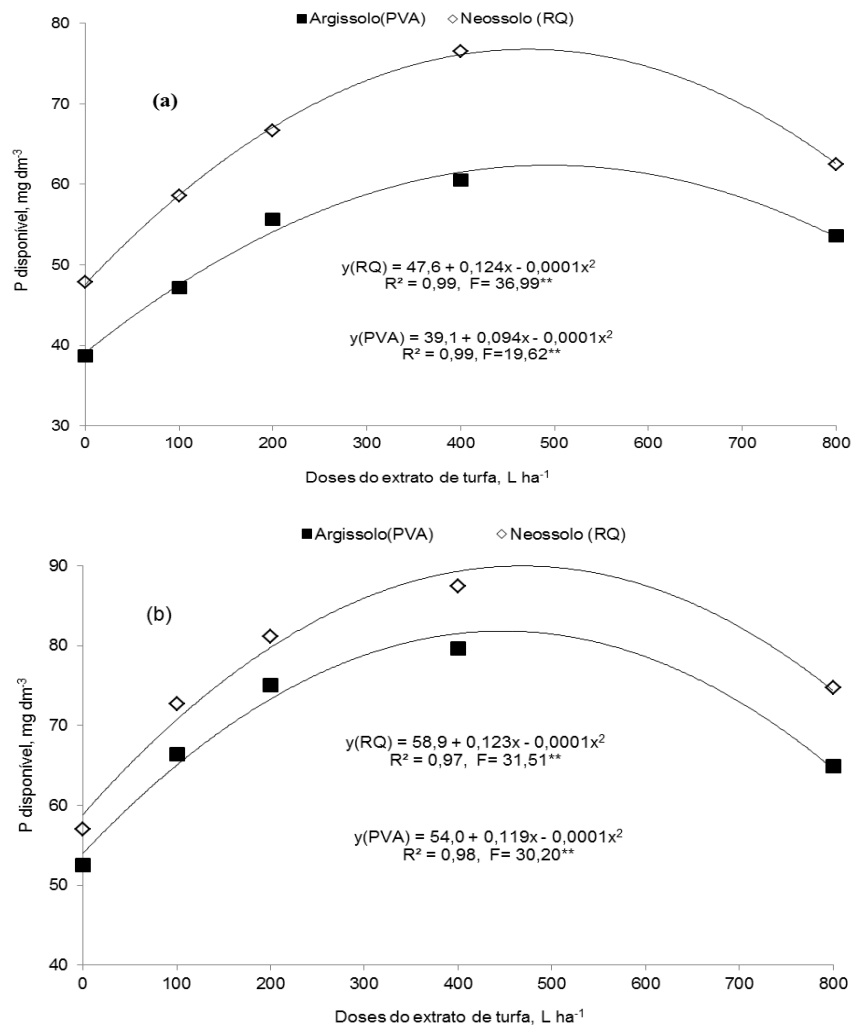
Na avaliação da disponibilidade de P em função das doses do extrato de turfa nos dois períodos de incubação, nota-se que houve incremento do teor de P disponível nos dois solos (Figura 5). O aumento do teor de P disponível, possivelmente é a interação sinérgica entre a liberação de substâncias húmicas (cargas negativas) pela turfa e as cargas positivas existente no solo.

As doses do extrato de turfa que promoveram maior disponibilidade de P no Neossolo e no Argissolo foram  $560 \text{ L ha}^{-1}$  e  $470 \text{ L ha}^{-1}$ , respectivamente, aos 30 dias de incubação do solo (Figura 5a). Aos 60 dias de incubação as doses do extrato de turfa que promoveram maior disponibilidade de P foram  $615 \text{ L ha}^{-1}$  para o Neossolo e  $595 \text{ L ha}^{-1}$  no Argissolo (Figura 5b). Maior disponibilidade de P é encontrada nos dois períodos de incubação no Neossolo (CMAP= $319 \text{ mg kg}^{-1}$ ), isto provavelmente ocorre devido a sua menor capacidade em adsorver fósforo em relação ao Argissolo (CMAP= $660 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Nota-se também, que com o aumento do tempo de incubação, a diferença de disponibilidade do P e a dose da turfa de máxima eficiência diminuem entre os solos (Figura 5), este fato se relaciona com o fator capacidade do solo em repor o P para o equilíbrio da solução, que diminui de intensidade com o tempo de aplicação do fertilizante fosfatado.

Esta observação concorda com relatos de Andrade et al. (2007), que observaram num experimento em solo argiloso, que os ácidos húmicos foram consistentes em diminuir a intensidade do fenômeno de adsorção de fósforo. Semelhantemente, Cessa et al. (2010) relataram que a presença de ácido fúlvico aplicado em solo incubado foi capaz de diminuir a CMAP na fração argila em Latossolo Vermelho, com aumento da disponibilidade deste nutriente no solo.



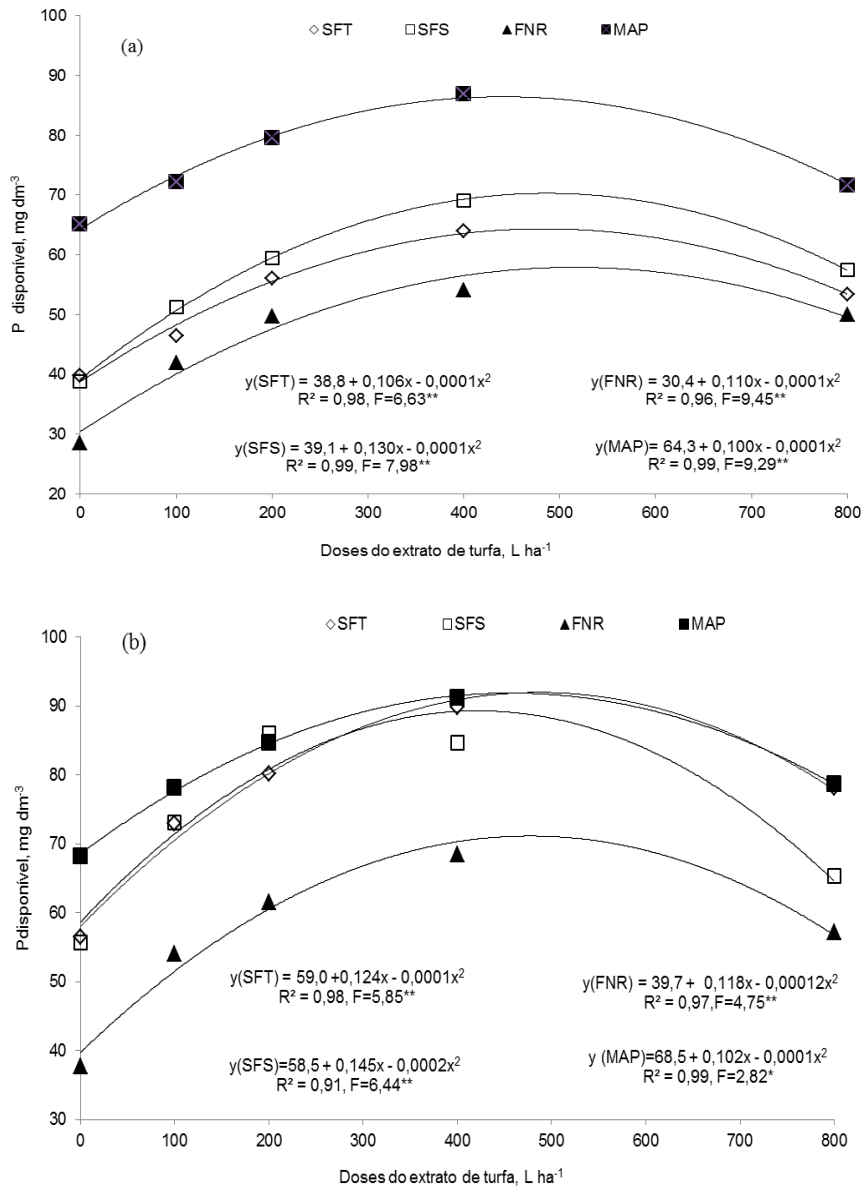


**Figura 5.** Teor de fósforo disponível em função das doses de turfa em Neossolo (RQ) e Argissolo (PVA) aos 30 dias (a) e 60 dias (b) de incubação do solo. ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ )

A relação entre o P disponível e doses do extrato da turfa para as fontes de P (SFT, SFS, FNR e MAP) se ajustou de forma quadrática nos dois períodos de incubação (Figura 6). Os valores máximos encontrados de P disponível aos 30 dias de incubação foram  $66,8 \text{ mg dm}^{-3}$  para o SFT,  $78,9 \text{ mg dm}^{-3}$  para o SFS,  $58,3 \text{ mg dm}^{-3}$  para o FNR e  $89,3 \text{ mg dm}^{-3}$  para o MAP, nas doses de máxima eficiência 530, 650, 550 e  $500 \text{ L ha}^{-1}$ , respectivamente (Figura 6a).

Os valores máximos de P disponível encontrados para cada fonte aos 60 dias de incubação do solo foram  $94,9 \text{ mg dm}^{-3}$  para o SFT,  $81,4 \text{ mg dm}^{-3}$  para o SFS,  $68,7 \text{ mg dm}^{-3}$  para o FNR e  $94,5 \text{ mg dm}^{-3}$  para o MAP, nas doses 620, 362, 490 e  $510 \text{ L ha}^{-1}$  do extrato de turfa, respectivamente. A ordem decrescente para o efeito

da disponibilidade de P no solo foi SFT>MAP>SFS>FNR (Figura 6b). Este resultado demonstra que as fontes solúveis tiveram maiores incrementos na disponibilidade de P com a adição das doses do extrato da turfa nos dois períodos de incubação.



**Figura 6.** Teor de fósforo disponível para as fontes fosfatadas em função das doses de turfa aos 30 dias (a) e aos 60 dias (b) de incubação do solo. ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). (SFT = superfosfato triplo; SFS = superfosfato simples; FNR = fosfato natural reativo de Bayóvar; MAP = fosfato monoamônico)

O FNR liberou menor quantidade de P (Figura 6b), porém nesta fonte, os processos de adsorção são minimizados, tendo em vista que, antes é necessário ocorrer sua solubilização, esse retardamento na adsorção pode resultar em melhor

aproveitamento do P pelas plantas em cultivos com ciclos de longa duração, fato que também foi observado por Santos et al. (2007). Além disto, a combinação de FNR e substâncias húmicas no solo pode promover a dissolução desta fonte de forma sincronizada com a saturação dos sítios de adsorção, o que pode aumentar o teor de fósforo disponível à planta perdura por mais tempo (Horowitz; Meurer, 2003).

Alguns autores como Aquino (2004); Pavinato e Roselem (2008) e Santos et al. (2004) relataram que a eficiência dos ácidos orgânicos em bloquear sítios de adsorção do P não se deve exclusivamente à adsorção dos grupos carboxílicos, e que deve-se também considerar o grande poder de complexação dos ácidos húmicos sobre o Fe e o Al na solução do solo, que pode reduzir a adsorção/precipitação de fosfato.

Quando se compara a recuperação do P adicionado no tratamento sem adição de turfa (dose 0 L ha<sup>-1</sup>) com o teor de P disponível encontrado na dose de máxima eficiência do extrato de turfa nos solos do maior período de incubação (Figura 6b), obtém-se que o SFT proporcionou ao solo 68% de P disponível após a adição de turfa, o SFS aumentou 46%, o FNR recuperou cerca de 82% e o MAP disponibilizou cerca de 40% a mais de P quando a turfa foi utilizada.

As fontes prontamente solúveis disponibilizam maiores quantidades de P logo ao serem adicionadas ao solo; já o FNR libera quantidades menores. Porém, em presença do extrato de turfa o FNR recupera maiores quantidades de P com o passar do tempo. Este aumento na disponibilidade de P no solo pela fonte FNR na presença de turfa pode ser explicado pelo sincronismo entre a liberação de ácidos húmicos da turfa e a dissolução do fosfato natural. Isto se deve a liberação de H<sup>+</sup> dos ácidos húmicos e complexação do Ca<sup>2+</sup>, o que favorece a dissolução desta fonte, aumentando a disponibilidade de fosfato no solo (Santos et al., 2004).

## 2.4 Conclusões

As doses de extrato de turfa incrementaram o teor de matéria orgânica e de P disponível, independente do solo ou da fonte de P empregada;

A presença de substâncias húmicas proporcionou aumento na disponibilidade de P em todas as fontes estudadas na sequência decrescente (MAP>SFT>SFS>FNR);

O maior teor de P disponível foi encontrado no Neossolo em relação ao Argissolo;

A dose do extrato de turfa que proporcionou maiores incrementos dos teores de P nos solos pelas fontes fosfatadas variou entre 500 a 580 L ha<sup>-1</sup>.

## 2.5 Referências

- Abolfazli, F., Forghani A., Norouzi, M. 2012. Effects of phosphorus and organic fertilizers on phosphorus fractions in submerged soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Temuco, 12 (2), 349-362.
- Almeida Júnior, A. B., Nascimento, C. W. A., Sobral, M. F., Silva, F. B. V., Gomes, W. A. 2011. 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-PB, 15 (10), 1004–1013.
- Andrade, F. V., Mendonça, E. S., Alvarez V. V. H., Novais, R. F. 2003. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, 27, 1003-1011.
- Andrade, F. V., Mendonça, E. S., Silva, I. R., Mateus, R. F. 2007. Dry-matter production and phosphorus accumulation by maize plants in response to the addition of organic acids in Oxisols. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, 38, 2733-2745.
- Aquino, B. F. 2004. Conceitos fundamentais em fertilidade do solo. Fortaleza: UFC. Apostilas Didáticas, 182p.
- Basamba, T. A., Barrios, E., Amezquita, E., Rao, I. M., Singh, B. R. 2006. Tillage effects on maize yield in a Colombian savanna oxisol: Soil organic matter and P fractions. *Soil & Tillage Research*, Olshausenstr, 91, 131-142.
- Barbosa, J. C., Maldonado Jr. W. 2011. Programa AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos. Versão 1.1.0.626.
- Bezerra, P. S. S., Takiyama, L. R., Bezerra, C. W. B. 2009. Complexação de íons de metais por matéria orgânica dissolvida: modelagem e aplicação em sistemas reais. *Acta Amazon*, Manaus, 39, 639-648.
- Brasil, Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 2006. Divisão de Corretivos e Fertilizantes. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura: legislação e fiscalização. Brasília, 127p.

Brown, P. A., Gill, S. A., Allen, S. J. 2000. Metal removal from wastewater using peat. *Water Research*, London, 34, 3907-3916.

Cessa, R. M. A., Celi, L., Vitorino, A. C. T., Novelino, J. O., Barberis, E. 2010. Adsorção de fósforo em fração argila na presença de ácido fúlvico. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa-MG, 34 (5), 1535-1542.

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2a. ed. Revisada e atualizada. Rio de Janeiro-RJ, 212p.

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Brasília-DF. 353p.

Fernandes, A. N., Giovanela, M., Soriano-Sierra, E. J., Sierra, M. M. D. 2006. Acidity data on humic substances from distinct environments: methodology considerations. *Journal of Coastal Research*, Durban, 39, 1062-1065.

Gatiboni, L.C., Kaminski, J., Rheinheimer, D. S., Flores, J. P. C. 2007. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, 31, 691-699.

Gullo, M. J. M. 2007. Uso de condicionadores de solo a base de ácido húmico na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Piracicaba, 2007. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Guppy, C. N., Menzies, N. W., Moody, P. W., Blamey, F. P. C. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. *Australian Journal Soil Research*, Melbourne, 43, 189-202.

Horowitz, N., Meurer, E. J. 2003. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. *Ciência Rural*, Santa Maria-RS, 33 (1), 41-47.

Horowitz, N., Meurer, E. J. 2004. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: Yamada, T.; Abdalla, S. R. S. (Eds.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 665-682.

Olsen, S. R., Watanabe, F. S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir Isotherm. Soil Science Society America Proceedings, Madison, 21, 144-149.

Ourives, O. E. A., Souza, G. M., Tiritan, C. S., Santos, D. H. 2010. Fertilizantes orgânicos como fósforo no cultivo de inicial de *Brachiara brizantha* CV. MARANDU. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia-GO, 40 (2), 126-132.

Pavinato, P. S., Rosolem, C. A. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, 32, 911-920.

Pinheiro, G. L., Silva, C. A., Furtini Neto, A. E. 2010. Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em resposta à aplicação de concentrações de C-ácido húmico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, 34, 1217-1229.

Malavolta, E. 2004. O fósforo na planta e interações com outros elementos. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS. 361p.

Matias, G. C. S. 2010. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, 174p.

Moreira, F. M. S. Siqueira, J. O. 2006. Microbiologia e bioquímica do solo. 2ª ed. Lavras: Editora UFLA, 729p.

Novais, R. F., Alvarez, V. H., Barros, N. F.; Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B. Neves, J. C. 2007. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, 1017p.

Raij, B. van, Andrade, J. C., Cantarella, H., Quaggio, J. A. 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 285p.

Rosa, A. H., Oliveira, L.C., Bellin, I. C., Rocha, J. C., Romão, L. P. C., Filho, N. L. D. 2005. Influence of alkaline extraction on the characteristics of humic substances in Brazilian soils. Thermochimica Acta, Philadelphia, 433, 77-82.

Santos, A., Bellin, I. C., Corbi, P. P., Cuin, A., Rosa, A. H., Rezende, M. O. O., Rocha, J. C., Melnikov, P. 2004. Competition between humic substances and alphaamino acids by metal species. Journal of the Brazilian Chemical Society, Campinas-SP, 15, 437-440.

Santos, A., Botero, W. G., Oliveira, L. C., Bellin, I. C., Rocha, J. C., Mendonça, A. G. R. 2007. Interaction between humic substances and metallic ions: a study of the selectivity of humic substances and their possible therapeutic application. Journal of the Brazilian Chemical Society, Campinas-SP, 18, 824-830.

Schumacher, M. V., Ceconi, D. E, Santana, C. A. 2003. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento das plantas de peltophorum dubium (Sprengel) Taubert. Boletim Pesquisa Florestal, Colombo-PR, 47, 99-114.

Silva, I. R. da, Mendonça, E. de S. 2007. Matéria orgânica do solo. In: Novais, R. F., Alvarez V. V. H., Barros, N. F. de, Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., Neves, J. C. L. (Eds.) Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, 275-374.



### **CAPÍTULO 3 - Fosfato natural e substâncias húmicas aplicados em Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho-Amarelo cultivados com cana-de-açúcar**

**RESUMO** - O uso de fosfato natural reativo associado às substâncias húmicas pode aumentar absorção de fósforo e a eficiência da adubação fosfatada na cultura de cana-de-açúcar. Objetivou-se avaliar o efeito do fosfato natural reativo na ausência e na presença de substâncias húmicas, no crescimento da planta, no acúmulo de fósforo e na produção de matéria seca pela cana-de-açúcar cultivada em dois solos, bem como avaliar o efeito residual de P após o 2º ciclo da cana-de-açúcar. O estudo foi conduzido em casa de vegetação no município de Chapadinha-MA, Brasil, num delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x3+2, com três repetições. Os tratamentos foram dois solos: Neossolo Quartzarênico Órtico e Argissolo Vermelho-Amarelo; na ausência e na presença de 520 L ha<sup>-1</sup> do extrato de turfa; três doses de P (75, 150 e 300 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de fosfato natural reativo e dois controles (sem fósforo e sem turfa). A unidade experimental foi constituída por um vaso preenchido com 20 kg de solo, cultivando-se uma variedade RB 867515 de cana-de-açúcar. No solo, foram determinadas matéria orgânica, pH e P disponível (resina). Avaliaram-se acúmulo de fósforo, matéria seca da parte aérea, altura da planta, número de perfilho, diâmetro do perfilho, aos 180 dias após plantio e aos 120 dias após o primeiro corte. A aplicação de extrato de turfa proporcionou maiores teores de fósforo e matéria orgânica no solo. O fosfato natural reativo proporciona um bom efeito residual de fósforo disponível, independente da sua associação com o extrato de turfa. O nível adequado de fósforo para a planta ocorreu entre as doses 150 - 300 mg dm<sup>-3</sup>. O uso de fosfato natural reativo associado ao extrato de turfa proporcionou maiores incrementos nas variáveis estudadas da cana-de-açúcar para os dois ciclos comparados ao fosfato natural isolado. A presença das substâncias húmicas proporcionou incremento significativo nas plantas de cana-de-açúcar cultivadas nos dois solos. O uso do extrato da turfa pode se transformar em uma maneira viável de aumentar a eficiência agrônômica da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** Matéria orgânica; *Saccharum* spp.; Adubação fosfatada; Acúmulo de fósforo; Efeito residual.

## Rock phosphate and humic substances applied in Quartzipsamment and Kandiudult cultivated with sugar cane

### Abstract

The use of natural reactive phosphate associated with humic substances will be able to increase phosphorus absorption the the efficiency of phosphate fertilization in the production of sugar cane. The objective of this study was to evaluate the effect of reactive phosphate in the absence and presence of humic substances on plant growth, the accumulation of phosphorus and dry matter production by sugar cane grown in two soils, and to evaluate the residual effect of P after the 2nd cycle of cane sugar. The study was conducted in a greenhouse in the municipality of Chapadinha, in the state of Maranhão, Brazil, in an entirely randomized 2x2x3+2 delineation with three repetitions in Quartzipsamment and Kandiudult, in the absence and presence of 520 L ha<sup>-1</sup> of the peat extract, three doses of P (75, 150 and 300 mg dm<sup>-3</sup>) in the rock phosphate form and two controls. The experimental unit consisted of a vase filled with 20 kg of soil containing a RB867515 of sugar cane. The accumulation of phosphorus and dry material on the aerial part of the sugar cante were evaluated, 180 days after planting and 120 days after cutting. The application of peat extract yielded higher levels of phosphorus and organic matter in soil. The reactive phosphate provides a good residual effect of available phosphorus, independent of its association with the extract of peat. The adequate level of phophorus for the plant occurred between the 150 - 300 mg dm<sup>-3</sup> doses. The use of reactive phosphate associated with peat extract provided greater increases in variables of cane sugar for two cycles compared to rock phosphate isolated. The presence of humic substances provided a significant increase in plant cane sugar grown in the two soils. The use of the extract of peat can become a viable way to increase the agronomic efficiency of cane sugar.

**Keywords:** Organic matter, *Saccharum* spp., phosphate fertilization, phosphorus accumulation, residual effect.

### 3.1 Introdução

A maior produtividade das culturas depende, dentre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes, em especial de fósforo (P). As pesquisas com cana-de-açúcar indicam que o P constitui um dos fatores mais limitantes na sua produção na maioria dos solos brasileiros, sendo necessária a prática da adubação fosfatada para suprir as necessidades da planta (Santos et al., 2009).

As fontes fosfatadas de elevada solubilidade correspondem a mais de 90% do  $P_2O_5$  aplicado na agricultura brasileira, estes apresentam maior eficiência em curto espaço de tempo, quando comparada aos fosfatos naturais que provêm de rochas ígneas e metamórficas (Novais et al., 2007). Nos solos tropicais, com elevada capacidade de adsorção de P, o nutriente oriundo da fonte solúvel é convertido a formas menos disponíveis reduzindo assim, sua eficiência (Meurer, 2012). O P, apesar de ser pouco requerido pelos vegetais é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nos solos brasileiros, face à sua baixa disponibilidade natural e sua afinidade com a fração mineral (Bastos et al., 2008).

Devido a provável escassez de matéria-prima para produção de fertilizantes minerais, são importantes estudos para minimizar o uso do P no solo sem diminuir a absorção deste nutriente pela planta (Stamford et al., 2006). Uma alternativa para melhorar o aproveitamento deste nutriente é o uso dos fosfatos naturais reativos, que devido a sua origem de rochas sedimentares (fosfatos moles) têm a capacidade de liberar P de maneira progressiva e contínua, com maior efeito residual e menor susceptibilidade à adsorção, portanto, mais eficiente em culturas perenes (Novais et al., 2007).

Além disso, podem-se associar os fertilizantes minerais com orgânicos, que devido à presença de compostos orgânicos, há aumento na eficiência de absorção de P pelas plantas. Alguns estudos têm demonstrado que o aumento da matéria orgânica pode induzir a redução da adsorção de P no solo, o que aumenta a sua disponibilidade no solo (Stevenson, 1986), graças à presença no material orgânico de frações estáveis denominadas de substâncias húmicas.

Há relatos na literatura, afirmando que o uso de materiais orgânicos, ricos em substâncias húmicas, incorporados no solo, aumenta a produção de cana-de-

açúcar, com destaque para a torta de filtro, com a dose  $28,3 \text{ t ha}^{-1}$  aplicada em vaso (Almeida Junior et al., 2011),  $70 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro incorporada ao solo em condições de campo para cana soca (Fravet et al., 2010), vinhaça na dose  $150 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$  (Marques, 2006), lodo de esgoto na dose média de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  (Tasso Junior et al., 2007) e turfa na dose  $25 \text{ t ha}^{-1}$  (Matias, 2010). Observa-se que estes estudos indicam doses relativamente elevadas de material orgânico, que oneram os custos do produto aplicado, o que pode afetar, assim, na sua viabilidade econômica.

Uma forma de diminuir a quantidade do material orgânico na agricultura seria utilizar o extrato destes materiais contendo solução concentrada de substâncias húmicas. Um estudo feito por Gullo (2007), associou adubação mineral a um extrato comercial proveniente da turfa com alta concentração de ácido húmico em solo arenoso de baixa fertilidade, com o uso de  $350 \text{ L ha}^{-1}$  em cana-planta e  $600 \text{ L ha}^{-1}$  em cana-soca, obteve-se aumento significativo na produtividade de cana-de-açúcar.

Diante do exposto, estabeleceu-se como hipótese de que o uso de substâncias húmicas na cultura de cana-de-açúcar pode contribuir para aumentar a eficiência da adubação fosfatada na forma de fosfato natural reativo a partir do incremento da absorção de fósforo pela planta. Desta forma, objetivou-se avaliar o efeito do fosfato natural reativo na ausência e na presença de substâncias húmicas, no crescimento da planta, no acúmulo de fósforo e na produção de matéria seca pela cana-de-açúcar, cultivada em Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho-Amarelo, bem como avaliar o efeito residual de P após o 2º ciclo da cana-de-açúcar.

### 3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal do Maranhão, município de Chapadinha-MA, Brasil. Utilizaram-se amostras da camada superficial de dois solos com diferentes texturas: Neossolo Quartzarênico órtico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média/média, ambos classificados de acordo com metodologia descrita em Embrapa (2013).

Realizou-se amostragem dos solos antes da instalação do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade, para a análise química das amostras dos solos para fins de fertilidade conforme metodologia descrita em Raji et al. (2001), e análise granulométrica de acordo com Embrapa (1997), e foram obtidos os seguintes resultados, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização dos atributos químicos e granulométricos do Neossolo Quartzarênico (RQ) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), na profundidade 0 - 20 cm

SOLOS	Atributos químicos												
	pH	P	MO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	SB	CTC	V	m	
	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					-----%-----				
Neossolo	4,0	5	17	8	3	0,3	0,9	15	11,3	26,3	43	8	
Argissolo	4,1	6	19	19	10	0,6	1,7	31	29,6	60,6	49	6	
	Granulometria			Micronutrientes									
	Argila	Silte	Areia	Cu	B	Mn	Fe	Zn					
	g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>									
Neossolo	139	91	770	0,1	0,2	0,9	79	0,3					
Argissolo	185	204	611	0,1	0,3	3,6	136	0,7					

P= fósforo disponível por Resina; MO = matéria orgânica; SB= soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por base; m = saturação por alumínio.

A capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) foi determinada em amostras do solo, sendo 319 mg kg<sup>-1</sup> para o Neossolo e 660 mg kg<sup>-1</sup> para o Argissolo, utilizando isoterma de Langmuir pelo método descrito por Olsen e Watanabe (1957).

Como fonte de substâncias húmicas foi utilizado um extrato líquido da turfa comercial com as seguintes características químicas e físicas cedido pela Empresa Porto Branco S.A: densidade do extrato da turfa = 1,04 g dm<sup>-3</sup>, densidade a base seca = 0,21 g dm<sup>-3</sup>, pH 5,3, CTC = 420 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, matéria orgânica = 770 g dm<sup>-3</sup>, ácido fúlvico = 74,1 g L<sup>-1</sup>, ácido húmico = 53,4 g L<sup>-1</sup>, 0,75 mg dm<sup>-3</sup> de P solúvel. A dose do extrato da turfa foi determinada num

experimento preliminar de incubação do solo por 30 e 60 dias, contendo doses do extrato de turfa e uma dose fixa de fósforo em forma de fosfato natural reativo, determinando-se a dose de  $520 \text{ L ha}^{-1}$  que proporcionou o maior teor de fósforo disponível no solo.

Em fevereiro de 2012, 30 dias antes da instalação do experimento, os solos foram coletados, peneirados e acondicionados em vasos com capacidade para 20 kg de solo. Para elevar a saturação por bases a 60% foi incorporado no solo calcário calcinado (PN = 95%, RE= 105,2% e PRNT = 100%), de acordo indicações para a cultura de cana-de-açúcar de Rajj e Cantarella (1997).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições, em esquema fatorial de  $2 \times 2 \times 3 + 2$ . Os tratamentos foram obtidos a partir da combinação de dois solos (Neossolo e Argissolo) na ausência e na presença de  $520 \text{ L ha}^{-1}$  do extrato de turfa, três doses de P (75, 150 e  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ ) foi utilizado o fosfato natural reativo de Bayóvar como fonte de P (14% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em ácido cítrico) e um tratamento controle para cada solo (sem fósforo e sem turfa). A adubação básica consistiu da aplicação a lanço de  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de N na forma de ureia (44% de N),  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de K na forma de cloreto de potássio (60% de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e em seguida incorporada ao solo. As adubações com cobre e zinco foram feitas adicionando-se 5 mg de cada micronutrientes por cada kg de solo.

A variedade RB 867515 foi utilizada neste experimento devido sua alta velocidade de crescimento, porte alto, hábito de crescimento ereto, boa brotação de soqueira e crescimento rápido promovendo alta produtividade (Hoffmann et al., 2008). O manejo hídrico da cana-de-açúcar foi realizado a partir de regas diárias para atender o adequado desenvolvimento vegetativo nas fases de brotação e perfilhamento da cana-de-açúcar, conforme valores recomendados para cada fase em Inman-Bamber e Smith (2005).

Após 15 dias da adubação foi realizado o plantio, colocando-se manualmente quatro gemas de cana-de-açúcar por vaso e, aos 20 dias (fase de brotação) após plantio iniciou-se o desbaste deixando apenas a planta mais vigorosa. Aos 180 dias (final da fase de perfilhamento) após o plantio a planta foi avaliada quanto ao crescimento: altura da planta, utilizando fita métrica; diâmetro

do perfilho, medindo-se a base do colmo com paquímetro e o número de perfilhos foi determinado a partir do número de brotos de cada vaso. Após avaliação foi efetuado o corte da planta rente ao solo para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) e do acúmulo de P. O material vegetal coletado foi lavado, seco em estufa a 65°C até massa constante. Em seguida, foi moído e realizado a determinação do teor de P de acordo com método descrito por Bataglia et al. (1983).

Após 15 dias do corte da cana-de-açúcar de primeiro ciclo foi adicionado em cobertura 300 mg dm<sup>-3</sup> de N na forma de ureia e 150 mg dm<sup>-3</sup> de K na forma de cloreto de potássio. Aos 120 dias (fase de perfilhamento) após o corte da cana-de-açúcar avaliou-se o crescimento da planta e em seguida efetuou-se o corte para avaliação da matéria seca e acúmulo de P do segundo ciclo, todo procedimento ocorreu de acordo com o utilizado no primeiro ciclo da cana-de-açúcar. Após a desmontagem do experimento, uma alíquota do solo de cada vaso foi coletada para determinação de P disponível, matéria orgânica e valor pH (de acordo com Rajj et al., 2001).

Os dados encontrados foram submetidos à análise de variância através do teste F e comparação de médias pelo teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software AgroEstat (Barbosa; Maldonado Jr., 2011).

### 3.3 Resultados e discussão

#### Efeito residual de P e matéria orgânica no solo

Não houve interação no valor de pH para os fatores estudados (doses de P, extrato de turfa e solos). Para variável matéria orgânica houve interação entre os fatores solos e doses de P, turfa e doses. Na avaliação da disponibilidade de P resina após o término do experimento dentro dos tratamentos, observa-se que houve interação entre fatores: solo e turfa, dose e turfa (Tabela 2).

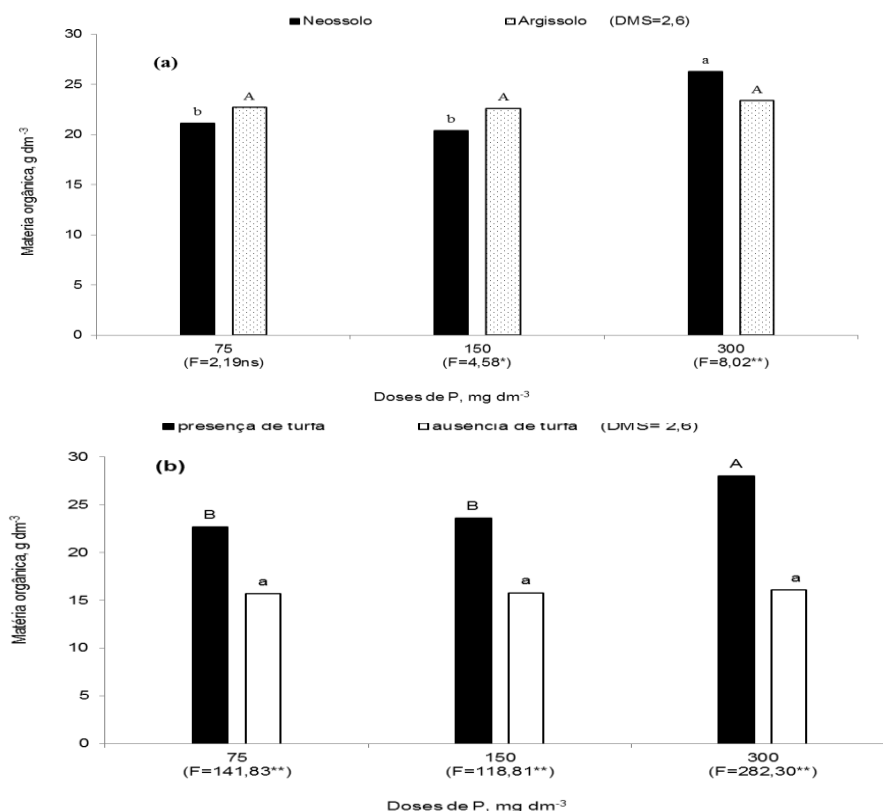
**Tabela 2.** Valor de pH, matéria orgânica (MO) e fósforo disponível (P resina) nos solos em função dos tratamentos (solos, turfa e doses de P)

Tratamentos	pH CaCl <sub>2</sub>	MO, g dm <sup>-3</sup>	P resina, mg dm <sup>-3</sup>
Solo (S)			
Neossolo	4,79	22,6	101,3
Argissolo	4,81	22,9	92,8
Teste F	0,21ns	0,21 ns	0,55 ns
Extrato de turfa (T)			
Presença	4,78	27,5	137,1
Ausência	4,81	15,8	57,0
Teste F	0,60ns	522,90**	48,79**
Doses de P (D)			
75 mg dm <sup>-3</sup>	4,80	21,9	59,2
150 mg dm <sup>-3</sup>	4,80	22,8	89,2
300 mg dm <sup>-3</sup>	4,79	24,8	142,5
Teste F	0,10ns	12,34**	18,08**
Fatorial (F)	8,17**	53,46**	10,05**
Controle (C)			
Neossolo	4,70	12,0	7,0
Argissolo	4,63	11,4	4,6
Teste F	1,26ns	0,17ns	0,01 ns
F versus C	0,57ns	193,32**	36,18**
S x T	0,60ns	0,51ns	4,99**
S x D	1,14ns	7,29**	1,05ns
T x D	1,81ns	9,98**	6,71**
S x T x D	0,10ns	2,62ns	2,24 ns
CV(%)	2,3	8,5	20,9

ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ). CV = coeficiente de Variação.

Houve diferença no teor de MO entre os solos com maior resultado para o Neossolo na dose 300 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 1a). A aplicação de doses crescentes de P na presença da turfa aumentou significativamente o teor de MO em comparação as doses de P (FNR) na ausência da turfa (Figura 1b).





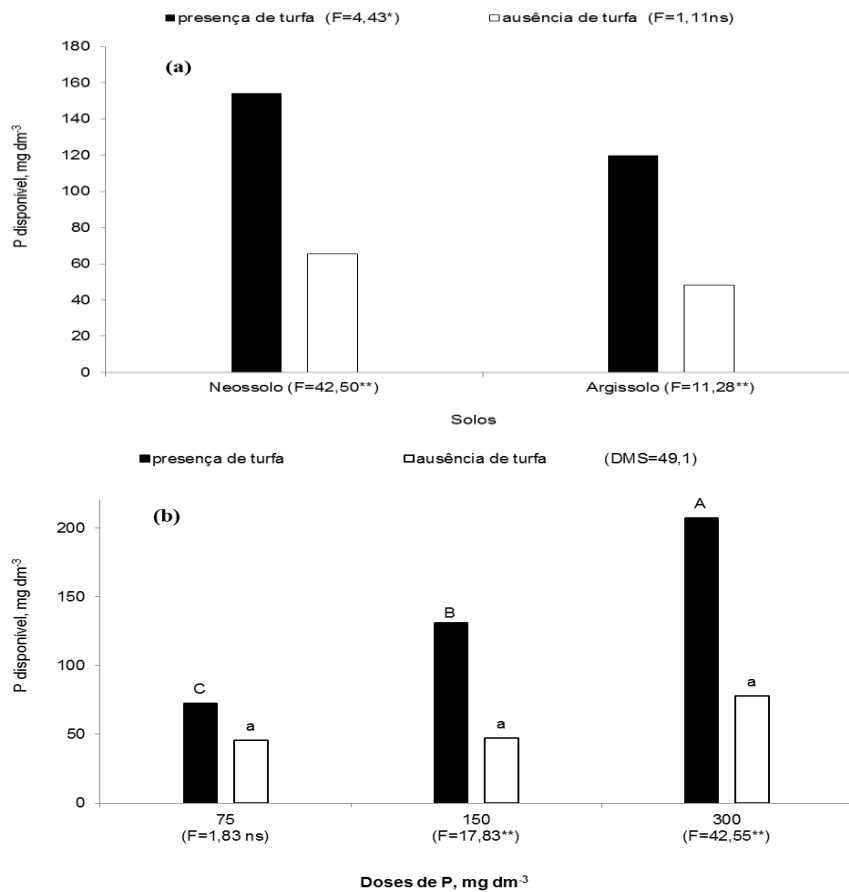
**Figura 1.** Matéria orgânica em função das doses de fósforo em diferentes solos (a) e diferentes níveis de turfa (b). ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 2,6: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (a) e na ausência de turfa (b); letras maiúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Argissolo (a) e na presença de turfa (b)

Nota-se que, a presença do extrato da turfa no solo proporcionou maior quantidade de matéria orgânica em todas as doses de P aplicadas, isto melhora a eficiência da adubação fosfatada pela liberação de substâncias húmicas, as quais “competem” com o P pelos sítios de fixação, e, conseqüentemente promovem maior disponibilidade deste nutriente às plantas (Bot e Benites, 2005). Fraga e Salcedo (2004); Matos (2008) e Ourives et al. (2010) também observaram maior disponibilidade de P no solo após a aplicação de adubação orgânica. Além disto, o P encontra-se em baixa quantidade nos solos tropicais, então, adição de substâncias húmicas pode contribuir para aumentar a disponibilidade deste nutriente, pela sua mineralização e também pela redução da adsorção do P pelas argilas (Pavinato e Rosolem, 2008; Basamba et al., 2006).

Para o P disponível, não houve diferença entre os dois solos quando o FNR foi avaliado isoladamente, porém, quando este é associado às doses do extrato de turfa, o Neossolo apresenta maiores teores de P disponível em relação ao Argissolo (Figura 2a). Isto provavelmente ocorre devido à diferença textural dos solos em questão, uma vez que o Neossolo por ser um solo arenoso, com menor capacidade de adsorção de P, apresenta menos resistência em adsorver o P do que o Argissolo, portanto, o Neossolo disponibiliza maior teor de P para a solução do solo. As doses de P isoladas (sem turfa) não diferiram entre si para a disponibilidade de P, mas, a presença da turfa associada ao FNR aumentou significativamente o teor de P disponível nas maiores doses de P aplicadas. Tal fato sugere que o teor de P no solo é afetado pela presença das substâncias húmicas (Figura 2b).

De acordo com limites de interpretação para P disponível por resina, citados em Raij e Cantarella (1997), os teores de P disponível entre 41 - 80 mg dm<sup>-3</sup> são considerados como alto e valores > 80 g dm<sup>-3</sup> de P são classificados como muito alto. Então, conclui-se pelos resultados que houve efeito residual de P para os dois solos com aplicação do fosfato natural reativo na presença e na ausência de turfa. De acordo com a Figura 2a, no final do experimento foram encontrados os teores de P disponíveis de 65,5 mg dm<sup>-3</sup> no Neossolo e 48,4 mg dm<sup>-3</sup> no Argissolo nos solos sem a presença de turfa, teores são classificados como alto. Os pesquisadores Kifuko et al. (2007) relataram que existe uma relação positiva entre doses de FNR e quantidade de P disponível em experimento de incubação e de campo, o que demonstra que a dissolução dos FNR's é favorecida pelo tempo de experimentação.

As amostras dos solos contendo os tratamentos de extrato da turfa associado ao FNR proporcionaram teores de P de 155 mg dm<sup>-3</sup> no Neossolo e de 120 mg dm<sup>-3</sup> de P no Argissolo (Figura 2a), valores considerados muito alto, de acordo com Raij e Cantarella (1997). Nota-se que a presença da turfa (substâncias húmicas) foi fundamental para o aumento na disponibilidade de P independente do solo. Além disso, a maioria das reações com as substâncias húmicas tem a capacidade de estimular diretamente o crescimento das plantas, especialmente das raízes, o que proporciona melhor desenvolvimento da planta e conseqüentemente maior produtividade (Nard et al., 2002)



**Figura 2.** Fósforo disponível em função dos solos (a) e em função das doses de P (b) em níveis diferentes de turfa. ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 49,1: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa; letras maiúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na presença de turfa

Um nível adequado de matéria orgânica no solo proporciona maior disponibilidade de P para as plantas e minimiza os efeitos dos fatores químicos, físicos e biológicos que afetam essa disponibilidade (Chiodini et al., 2013). Além disso, a presença da matéria orgânica liberada pela turfa pode contribuir significativamente com a melhoria da estrutura e agregação do solo, o que aumenta a aeração e a drenagem interna do solo (Araujo et al., 2007).

### Primeiro ciclo da cana-de-açúcar

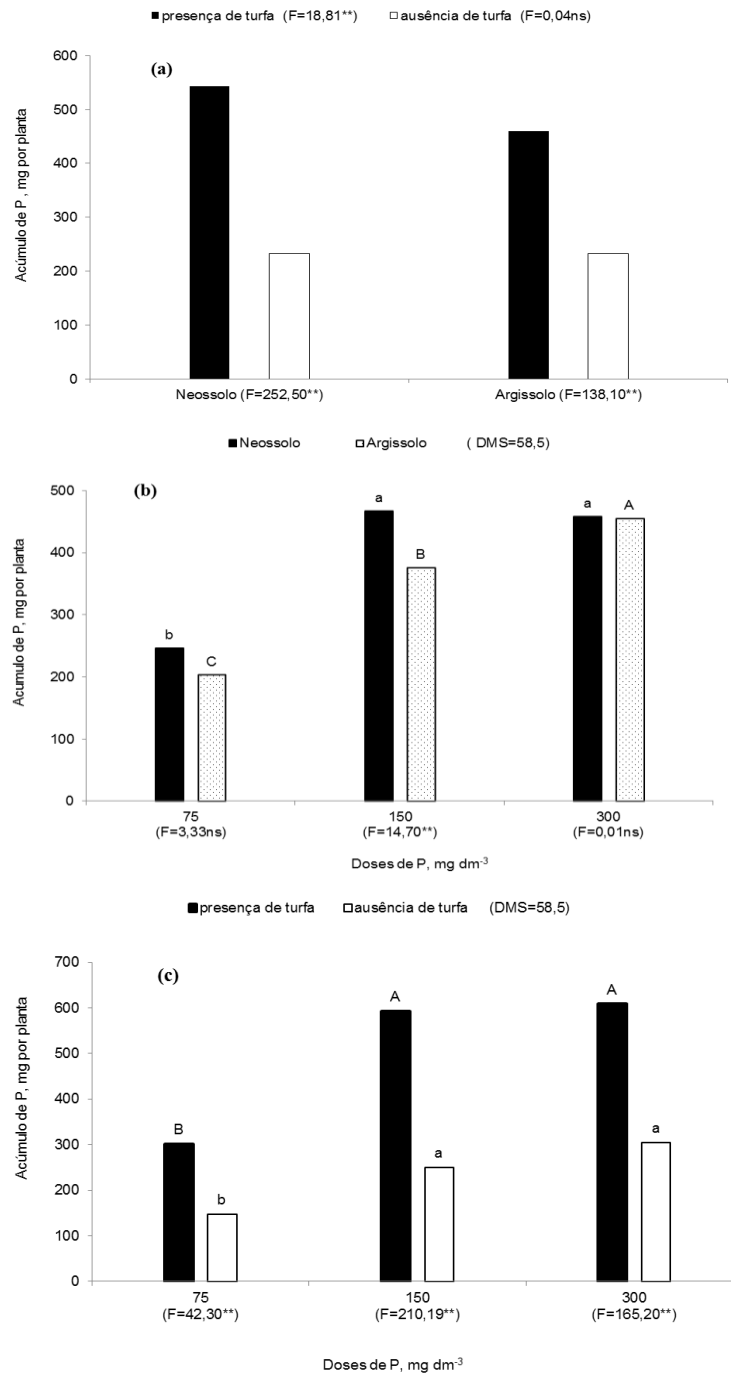
Os tratamentos utilizados para a cana de primeiro ciclo promoveram incremento no acúmulo de P na planta, matéria seca e em todas as variáveis de crescimento em relação ao tratamento controle (Tabela 3).

**Tabela 3.** Acúmulo de fósforo (AcP), altura da planta (AP), diâmetro do perfilho (DP), número de perfilho (NP) e matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar (primeiro ciclo) em função dos tratamentos (solos, turfa e doses de P)

Tratamentos	Variáveis				
	AcP g por planta	AP cm	DP mm	NP	MSPA g por planta
Solo (S)					
Neossolo	389,6	137,5	20,1	6,6	186,5
Argissolo	345,9	147,5	21,8	5,4	192,6
Teste F	10,28**	12,53**	41,20**	31,30**	13,87**
Extrato de turfa (T)					
Ausência	234,4	108,7	19,1	6,0	172,8
Presença	501,0	182,4	22,8	7,0	206,2
Teste F	382,0**	1414,20**	86,80**	84,00**	414,4**
Doses de P (D)					
75 mg dm <sup>-3</sup>	224,6 c	118,7 b	17,58 b	4,3 c	177,4 b
150 mg dm <sup>-3</sup>	303,7 b	150,5 a	23,16 a	7,5 a	195,4 a
300 mg dm <sup>-3</sup>	456,6 a	152,5 a	22,50 a	6,3 b	195,9 a
Teste F	112,21**	167,20**	155,81**	71,80**	54,87**
Fatorial (F)	61,04**	171,86**	52,05**	28,54**	52,46**
Controle (C)					
Neossolo	142,9	86,3	13,0	3,6	62,3
Argissolo	138,4	82,4	12,3	2,0	60,1
Teste F	0,01 ns	0,71 ns	0,97 ns	19,06**	0,30 ns
F versus C	334,37**	628,86**	517,24**	100,15**	3487,37**
S x T	8,56**	1,09 ns	0,64 ns	1,04 ns	0,43 ns
S x D	3,92*	9,33**	8,73**	1,81 ns	1,16 ns
T x D	17,82**	50,89**	5,35**	21,78**	9,67**
S x T x D	1,33 ns	3,94*	2,45 ns	3,37*	8,47**
CV(%)	14,2	3,8	11,6	4,1	2,9

ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \* significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas nas colunas comparam as doses de fósforo dentro de cada variável.

Houve interação na variável acúmulo de P entre todas as fontes de variação, isto demonstra que a resposta da planta para absorção do P pode ser diferente nos solos, na ausência e na presença da turfa e também nas diferentes doses de P no primeiro ciclo da cana-de-açúcar (Tabela 3). Para a interação entre solo e turfa, verifica-se que a presença do extrato da turfa proporcionou maior incremento no acúmulo deste nutriente na planta em relação ao tratamento na ausência de turfa (Figura 3a).



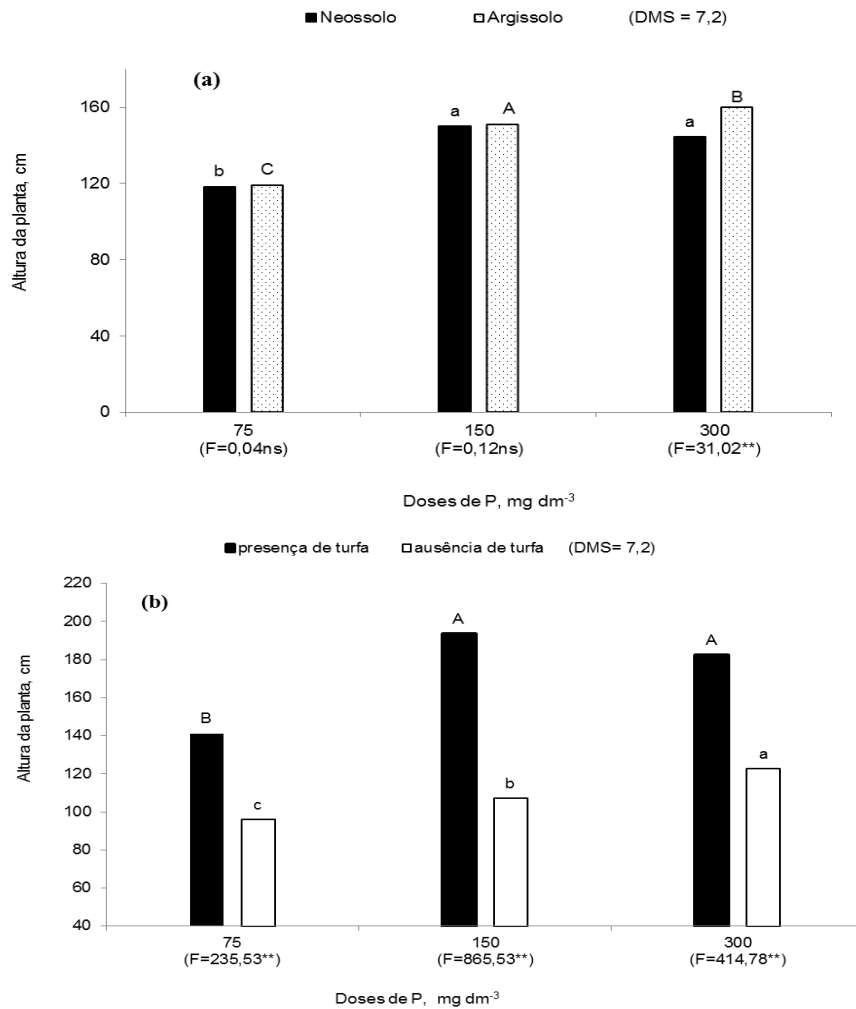
**Figura 3.** Acúmulo de P em função dos solos em diferentes níveis de turfa (a); das doses de P em diferentes solos (b); e das doses de P em diferentes níveis de turfa (c) na cana-de-açúcar de primeiro ciclo. ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS=58,5: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (b) e na ausência de turfa (c). Letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo (b) e na presença de turfa (c)

Nota-se ainda, que houve maior incremento no acúmulo de fósforo da planta cultivada no Neossolo para o tratamento na presença de turfa; já na ausência do extrato da turfa não houve diferença entre os dois solos (Figura 3a). O maior acúmulo de P pela planta cultivada em Neossolo, possivelmente está relacionada com a baixa capacidade de adsorção de P deste solo ( $319 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em relação ao Argissolo ( $660 \text{ mg kg}^{-1}$ ), que reflete em maior absorção deste nutriente pela planta. Este maior acúmulo de P na planta cultivada em Neossolo em relação ao Argissolo ocorreu apenas com a dose moderada de P, ou seja, na dose  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 3b). Observa-se ainda que este incremento na absorção de P pela planta pode ser reflexo da alta disponibilidade de P encontrada nos solos após final do experimento, conforme demonstrado na Tabela 2.

A presença da turfa proporcionou incremento no acúmulo de P na planta em relação a sua ausência independente da dose de P utilizada (Figura 3c). Este resultado demonstra a importância da aplicação da turfa líquida associada ao fosfato natural reativo no incremento da absorção do P pela planta, dado possivelmente pelo fato de favorecer a disponibilidade de P no solo. Na maioria das vezes, a aplicação de adubação orgânica proporciona maior acúmulo de P na planta, devido o aumento de ácidos orgânicos, que competem com sítios de adsorção do P, o que diminui o potencial das cargas positivas (Mielniczuc, 2008) e aumenta a disponibilidade de P para as plantas (Guppy et al., 2005). Além disto, os ácidos orgânicos liberam  $\text{H}^+$  (prótons), que por sua vez, atuam na solubilização do fosfato natural, isto provoca aumento na disponibilidade do íon fosfato no solo (Matias, 2010).

Houve interação entre os fatores solo e doses de P para as variáveis, altura da planta e diâmetro do perfilho (Tabela 3). Comparando as médias no desdobramento entre solo e doses de P sobre altura da planta (Figura 4) e diâmetro do perfilho (Figura 5), nota-se que o aumento destas doses incrementou de forma significativa estas variáveis. As maiores respostas foram encontradas nas doses  $150$  e  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ , sugerindo que a dose  $75 \text{ mg dm}^{-3}$  de P pode ser insuficiente, pois possibilita respostas menores pela planta em relação às demais doses de P. Na maior dose de P, a altura da planta no Argissolo apresentou maior incremento,  $160 \text{ cm}$ , enquanto que a planta cultivada no Neossolo apresentou uma média de  $144 \text{ cm}$

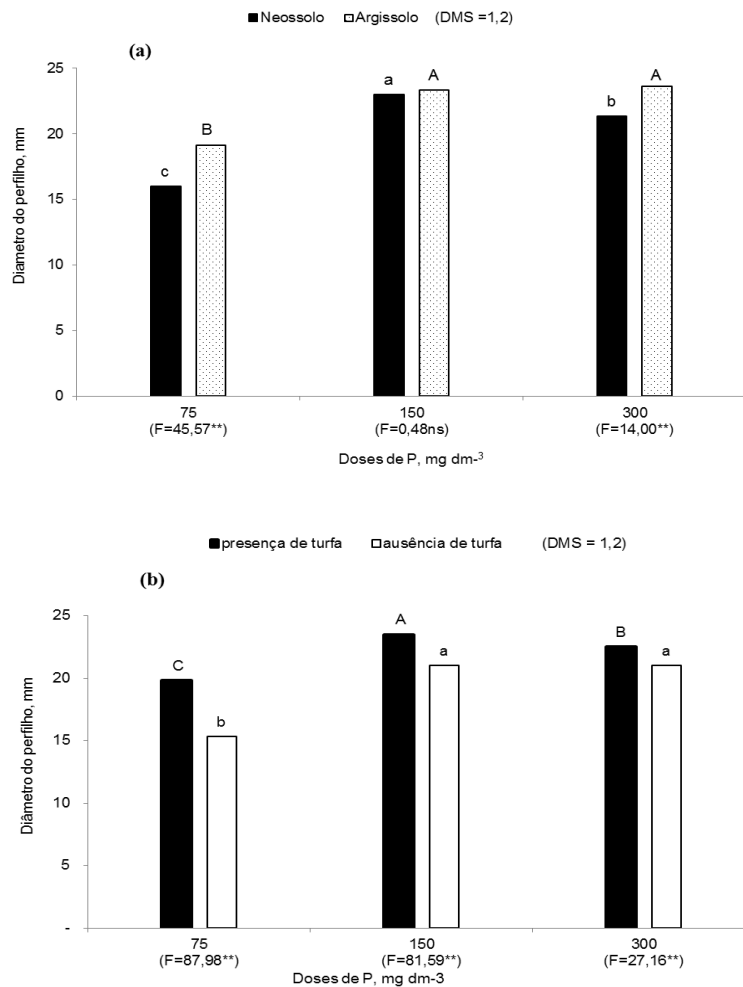
de altura. Para as demais doses de P não houve diferença significativa entre os dois solos (Figura 4a). O diâmetro do perfilho também apresentou maior resultado para o Argissolo na dose 300 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 5a). Na dose 150 mg dm<sup>-3</sup> não houve diferença significativa entre os solos para essa variável.



**Figura 4.** Altura da planta em função de doses de P nos diferentes solos (a) e diferentes níveis de turfa (b) no primeiro ciclo da cana-de-açúcar. ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 7,2: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (a) e ausência de turfa (b) e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo (a) e na presença de turfa (b)

No desdobramento da interação entre turfa e dose de P para as variáveis altura da planta (Figura 4b) e diâmetro do perfilho (Figura 5b), observa-se que a aplicação de turfa no solo proporcionou maiores respostas da planta em todas as doses de P. O maior incremento ocorreu na dose 150 mg dm<sup>-3</sup> de P, para altura da

planta o aumento foi da ordem de 80 cm. Já o aumento no diâmetro do perfilho foi cerca de 3 mm em comparação ao tratamento na ausência de turfa.

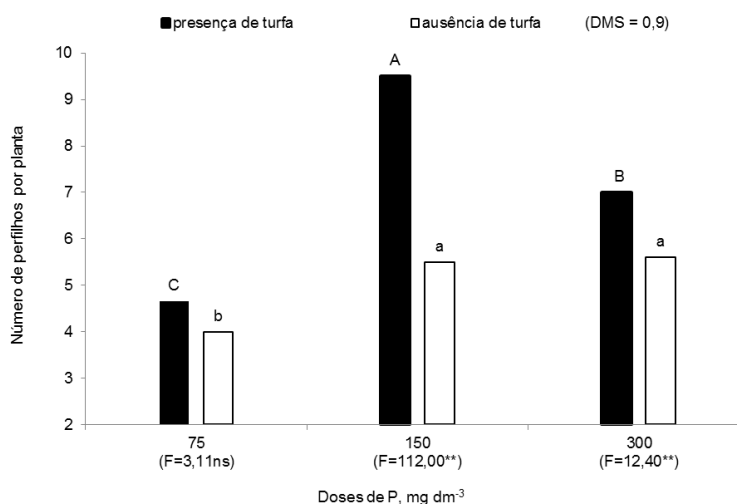


**Figura 5.** Diâmetro do perfilho em função de doses de P nos diferentes solos (a) e diferentes níveis de turfa (b) no primeiro ciclo da cana-de-açúcar. ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 1,2: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (a) ausência de turfa (b) e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo (a) e presença de turfa (b)

O desdobramento da interação entre turfa e dose de P para o número de perfilho (Figura 6), mostra que houve aumento da quantidade de perfilho por planta com o aumento das doses de P. O maior incremento foi proporcionado pela dose 150 mg dm<sup>-3</sup> de P na presença do extrato de turfa (Figura 6). Observa-se ainda, que a presença do extrato de turfa associado à adubação fosfatada foi indispensável para o aumento do perfilhamento nas maiores doses de FNR. Cabe salientar que a

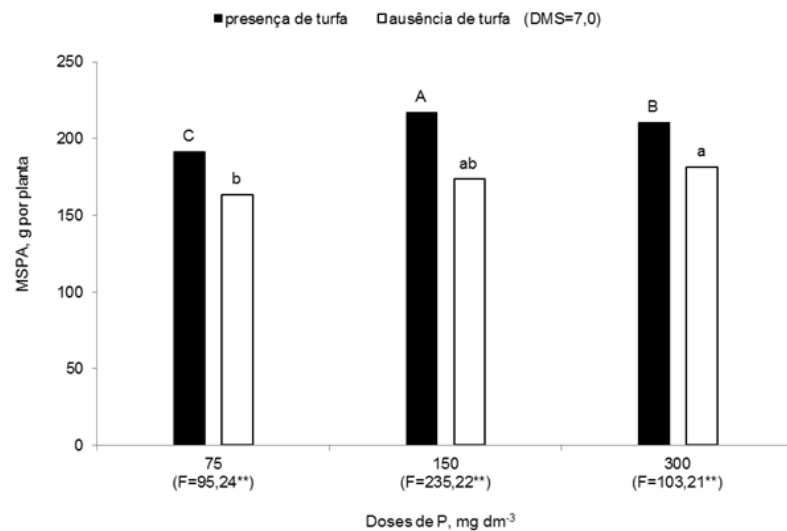


capacidade de perfilhamento das variedades de cana-de-açúcar é um dos fatores determinantes da produção agrícola desta cultura (Oliveira et al., 2011).



**Figura 6.** Número de perfilho em função das doses crescentes de P nos diferentes níveis de turfa para a cana-de-açúcar de primeiro ciclo. ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. DMS=0,9: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro tratamento na presença de turfa

Houve aumento da matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar de primeiro ciclo com o aumento das doses de P nos tratamentos com e sem adição do extrato de turfa (Figura 7). Maior incremento da MSPA na presença de extrato de turfa associado à fonte fosfatada foi encontrado na dose 150 mg dm<sup>-3</sup> de P. Estes resultados demonstram que a adição do extrato de turfa (substâncias húmicas) nos solos proporcionou maior produção da MSPA, isto pode refletir positivamente na produção final da cana-de-açúcar (Garcia, 2005). Resultados encontrados na literatura mostram que alguns autores já obtiveram incrementos na produtividade de matéria seca em milho após aplicar ácidos orgânicos associado com fosfato natural em solos ácidos (Kifuko et al., 2007; Opala et al., 2010).



**Figura 7.** Matéria seca da parte aérea (MSPA) em função das doses de P nos diferentes níveis de turfa para a cana-de-açúcar de primeiro ciclo. <sup>\*\*</sup> significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS=7,0: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro tratamento na presença de turfa

Em geral, a adição de turfa nos dois solos aumentou a eficiência na resposta da planta proporcionando maior absorção de P, devido, possivelmente, à maior disponibilidade de P. Essa maior absorção de P refletiu positivamente nos componentes de crescimento da planta e em maior produção de MSPA. A adição do extrato da turfa proporcionou maior teor de matéria orgânica no solo, então, a mineralização desta matéria orgânica, além de liberar P, forma ácidos orgânicos capazes de reduzir a fixação do P pelos óxidos de ferro e alumínio, através da resultante de bloqueios de sítios de adsorção de P com os radicais orgânicos, portanto, vai possibilitar o aumento na disponibilidade deste nutriente no solo (Guppy et al., 2005).

O efeito benéfico da adubação fosfatada associada a substâncias húmicas comparada ao uso isolado do fertilizante mineral na cultura de cana-de-açúcar (primeiro ciclo), também foi reportado por outros autores como Bolonhezi et al. (2007), que observaram aumento na produtividade de colmo de diferentes variedades com o uso de 15 L ha<sup>-1</sup> de substâncias húmicas no sulco de plantio em Latossolo Vermelho. Também, Gullo (2007) obteve resposta significativa utilizando uma dose de 350 L ha<sup>-1</sup> de substâncias húmicas em solo arenoso. Benzoni Neto

(2006) aplicou 20 L ha<sup>-1</sup> da mistura de 12% de ácidos húmicos e 3% de ácidos fúlvicos, no sulco de plantio da cana-de-açúcar cultivada em um Argissolo Vermelho e obteve ganhos significativos na produção de colmos, além de proporcionar maior desenvolvimento do sistema radicular da planta. Porém, Sarto et al. (2010) aplicaram 3 kg ha<sup>-1</sup> de substâncias húmicas associado a fertilizantes minerais em sulco de plantio e observaram que, este tratamento não proporcionou ganhos na brotação de algumas variedades de cana-de-açúcar e nem estimulou o desenvolvimento inicial desta plantas.

## Segundo ciclo da cana-de-açúcar

O efeito residual do P e extrato de turfa aplicados na ocasião do plantio da cana-de-açúcar foram avaliados sobre as variáveis, acúmulo de P, altura da planta, diâmetro de perfilho, número de perfilho e matéria seca da cana-de-açúcar de segundo ciclo e verificou que houve efeito significativo dos tratamentos (solo, turfa e doses de P) utilizados no fatorial quando se compara com o tratamento controle (Tabela 4). Resultados semelhantes foram encontrados no primeiro ciclo deste experimento. Quando se compara os solos no tratamento controle (sem fósforo e sem turfa), observa-se que somente a altura da planta apresentou diferença significativa, com maior resposta para a planta cultivada no Argissolo (Tabela 4).

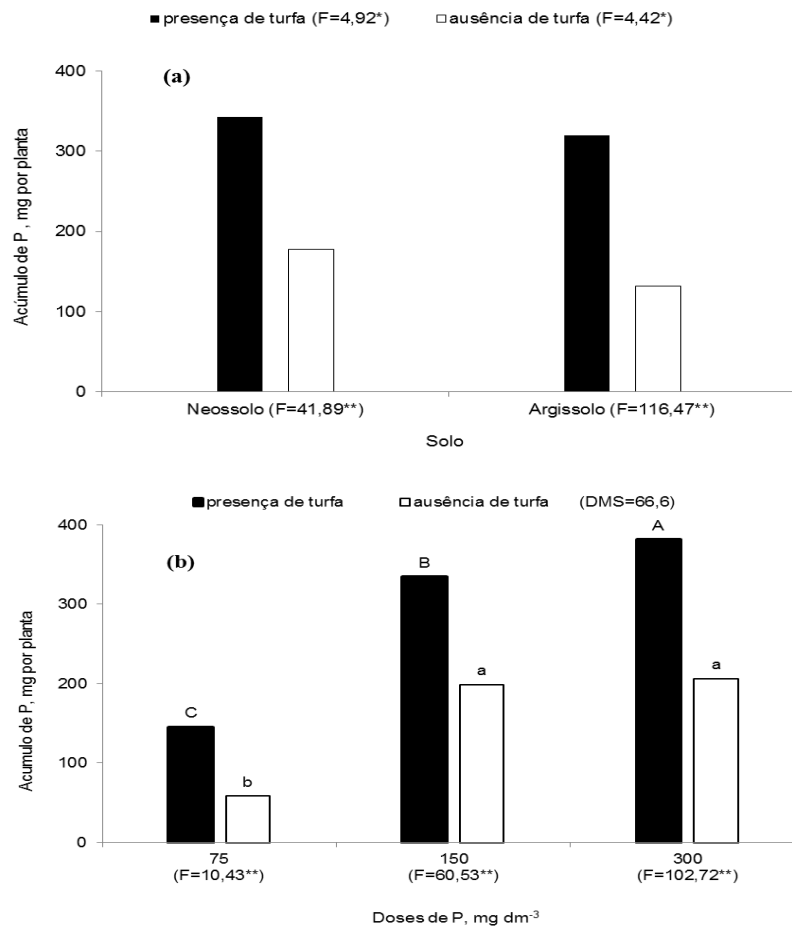
**Tabela 4.** Acúmulo de fósforo (AcP), altura da planta (AP), diâmetro do perfilho (DP), número de perfilho (NP) e matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar de segundo ciclo em função dos tratamentos (solos, turfa e doses de P)

Tratamentos	Variáveis				
	AcP g por planta	AP cm	DP mm	NP	MSPA g por planta
<b>Solo (S)</b>					
Neossolo	250,1	97,1	15,7	4,8	122,4
Argissolo	248,8	104,8	17,3	4,3	140,9
Teste F	0,01 ns	13,12**	57,72**	4,97*	62,89**
<b>Extrato de turfa (T)</b>					
Ausência	154,6	82,2	14,6	3,8	103,3
Presença	344,4	115,7	18,3	5,3	160,0
Teste F	149,03**	193,18**	308,07**	44,76**	593,30**
<b>Doses de P (D)</b>					
75 mg dm <sup>-3</sup>	101,9 b	92,9 b	13,3 b	3,5 c	93,8 c
150 mg dm <sup>-3</sup>	303,7 a	110,8 a	18,0 a	5,8 a	145,1 b
300 mg dm <sup>-3</sup>	342,8 a	99,2 b	18,2 a	4,5 b	156,2 a
Teste F	92,15**	24,30**	226,95**	36,17**	272,54**
<b>Fatorial (F)</b>					
	33,99**	25,48**	82,42**	14,80**	116,26**
<b>Controle (C)</b>					
Neossolo	117,8	50,2	9,3	2,0	40,5
Argissolo	120,2	75,2	10,3	2,0	43,3
Teste F	0,01 ns	23,05**	3,71 ns	0,00 ns	0,24 ns
F x C	125,56**	186,00**	569,42**	79,17**	849,19**
S x T	9,33**	14,12**	8,30**	3,01 ns	31,98**
S x D	1,98 ns	2,04 ns	5,42*	0,18 ns	19,60**
T x D	12,32**	3,17 ns	19,42**	16,76**	3,04 ns
S x T x D	1,32 ns	0,40 ns	14,48**	1,90 ns	0,19 ns
CV(%)	21,5	6,7	15,8	4,1	5,9

ns, não significativo; \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas na coluna comparam as doses de fósforo de cada variável.

A presença de extrato de turfa nos tratamentos proporcionou maiores incrementos na absorção de P pela planta cultivada nos dois solos em comparação

a ausência deste extrato (Figura 8a). Na comparação dos solos, nota-se que maiores incrementos do acúmulo de P forma encontrados em plantas cultivadas em Neossolo do que as cultivadas em Argissolo (Figura 8a). Resultados semelhantes também foram encontrados neste experimento para cana-de-açúcar de primeiro ciclo, conforme demonstrado na Tabela 3.

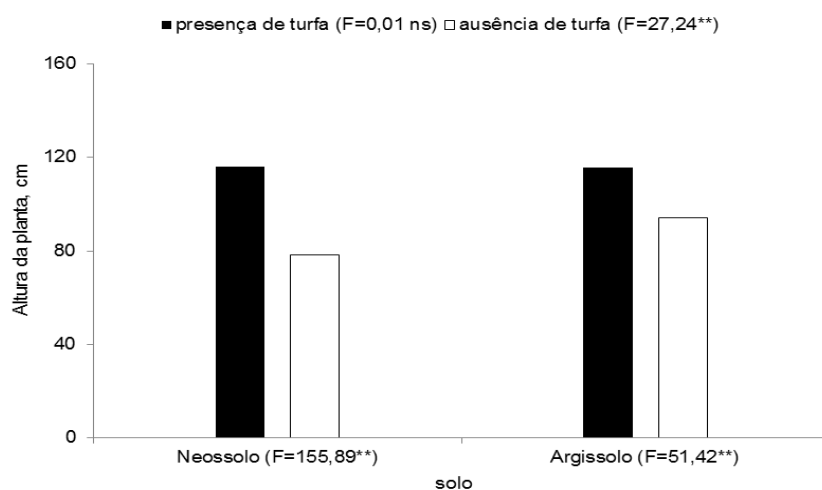


**Figura 8.** Acúmulo de P em função no segundo ciclo da cana-de-açúcar dos solos nos diferentes níveis de turfa (a) e em função das doses de P em diferentes níveis de turfa (b), aplicados no plantio. \*\*significativo ( $p < 0,01$ ) e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS= 66,6: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro tratamento na presença de turfa (b)

A presença do extrato de turfa em todas as doses de P, aplicados inicialmente no plantio, proporcionou maiores incrementos na absorção de P pela planta de cana-de-açúcar de segundo ciclo em comparação ao tratamento sem aplicação de turfa. Tal fato demonstra que, a adição deste adubo orgânico associado ao fosfato natural

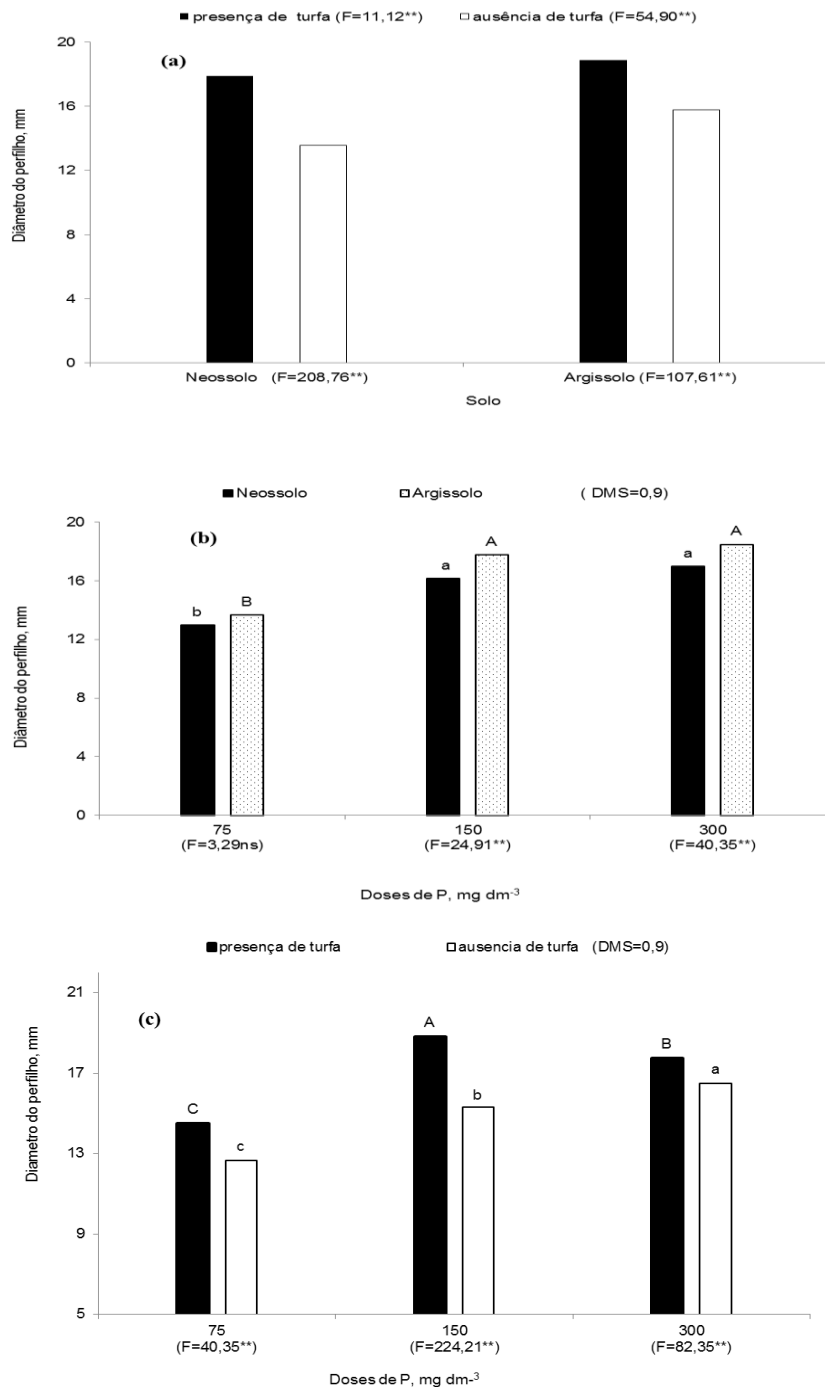
reativo aumenta efeito residual de fósforo no solo, proporcionando maior acúmulo de P pela planta (Figura 8b). A maior superioridade na resposta da planta após aplicação do extrato de turfa no solo, possivelmente resultará em aumento de produtividade de colmos, pois o aumento no acúmulo de P na planta possibilita maior produção de matéria seca. Resultados na literatura demonstram que a aplicação de adubação orgânica na cultura de cana-de-açúcar é viável, independente do tipo de solo, para melhorar efeito residual do fósforo, e, com isso, proporcionar melhores respostas da planta, conseqüentemente aumentar a produção de colmos em socarias (Santos et al., 2012; Fravet et al., 2010).

No desdobramento da interação para a variável altura da planta, nota-se que o tratamento na presença de turfa apresentou as maiores respostas da planta nos dois solos em comparação ao tratamento sem a turfa (Figura 9). A altura da planta encontrada no tratamento com presença de turfa não foi afetada pelo tipo de solo, no entanto, na ausência de extrato de turfa, o melhor comportamento foi verificado na planta cultivada em Argissolo (Figura 9).



**Figura 9.** Altura da planta de cana-de-açúcar de segundo ciclo em função dos solos. ns, não significativo e \*\* significativo ( $p < 0,01$ )

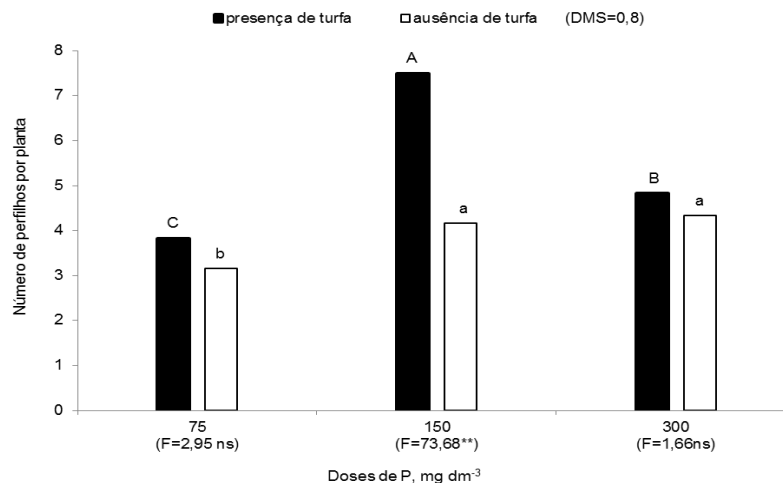
No desdobramento da interação para o diâmetro do perfilho, nota-se que os maiores incrementos foram encontrados na planta cultivada em Argissolo (Figura 10a) e que a presença de extrato de turfa associado às doses de P aplicadas inicialmente no plantio proporcionou maiores incrementos quando comparados com as doses de FNR isoladas (Figura 10b).



**Figura 10.** Diâmetro do perfilho na cana-de-açúcar de segundo ciclo em função dos solos em diferentes níveis de turfa (a); dos níveis de doses de P em diferentes solos (b) e das doses crescentes de P em diferentes níveis de turfa (c). ns, não significativo e \*\*significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS=0,9: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo (b) e tratamento na ausência de turfa (c). Letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo (b) e tratamento na presença de turfa (c)

Quando se compara os níveis de extrato de turfa (presença e ausência) na dose de maior resposta da planta ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ), o diâmetro do perfilho apresentou incremento de cerca de 3 mm para a planta cultivada na presença da dose de turfa (Figura 10c). Esse resultado é semelhante ao encontrado na cana-de-açúcar no primeiro ciclo deste experimento, o que demonstra que as substâncias húmicas provenientes da turfa, continuam agindo no solo por períodos mais prolongados.

Para o número de perfilho, o desdobramento demonstra que o tratamento na presença da turfa proporcionou incrementos significativos na dose  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo (Figura 11), para as demais doses, não houve diferença entre os níveis de turfa. O aumento na quantidade de perfilho sugere que as substâncias húmicas liberadas pela turfa reagem com os sítios positivos do solo incrementando a disponibilidade de P, o que proporciona maior desenvolvimento da parte radicular da planta e condiciona maior absorção de P e de outros nutrientes, como consequência há aumento no perfilhamento. De acordo com Santos et al. (2012), o P é essencial para crescimento da raiz, o que proporciona à planta maior absorção do nutriente e possibilitando maior perfilhamento pela cultura de cana-de-açúcar.



**Figura 11.** Número de perfilho na cana-de-açúcar de segundo ciclo em função das doses crescentes de P nos diferentes níveis de extrato de turfa. ns, não significativo e \*\* significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS=0,8: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do tratamento na ausência de turfa e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro tratamento na presença de turfa



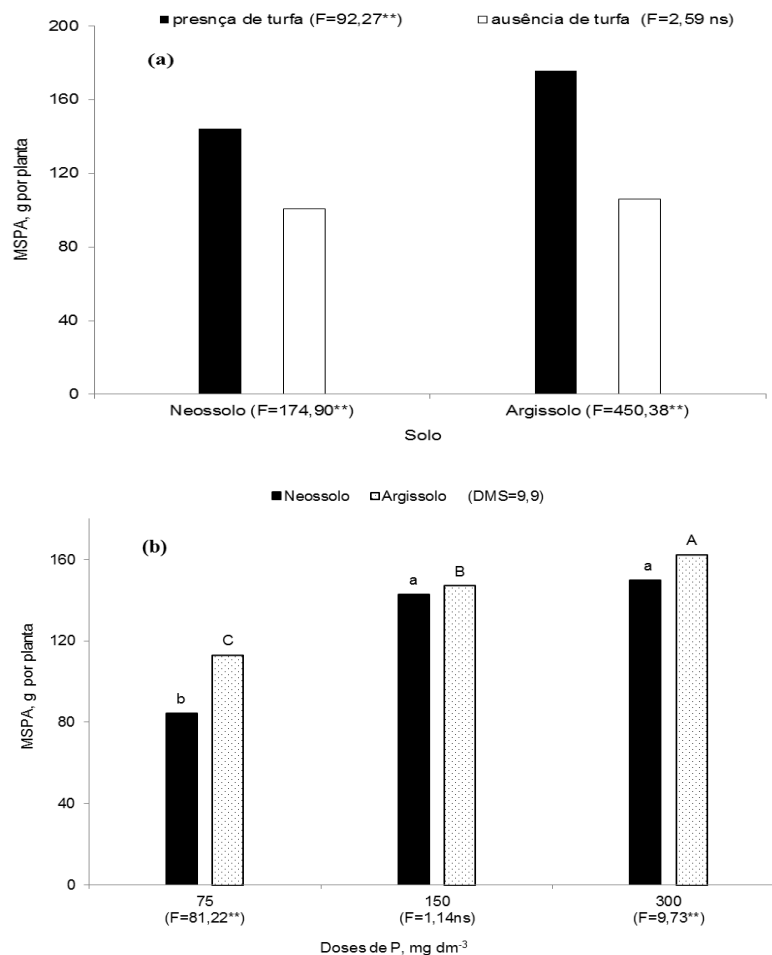
O tratamento contendo extrato de turfa proporcionou maiores respostas da planta para a variável matéria seca da parte aérea (MSPA) nos dois solos em comparação ao tratamento sem aplicação de turfa (Figura 12a). Entretanto, na presença de extrato de turfa, a planta cultivada no Argissolo foi a que produziu maior quantidade de MSPA, quando comparada com a planta cultivada no Neossolo. Esperava-se resultado inverso, pois, neste experimento, a planta cultivada no Neossolo possibilitou maior acúmulo de P. Este resultado pode estar relacionado com a otimização do uso do P disponível no solo pela planta. Esta planta absorve menos P, e converte-o de forma mais eficiente na transformação de matéria seca. Esta observação concorda com Oliveira et al. (2011), estes pesquisadores relataram que a quantidade de P no solo, pode influenciar diretamente na resposta da planta, podendo as culturas se adequar de acordo com a quantidade deste nutriente no solo.

Resultados semelhantes já foram relatados na literatura, alguns pesquisadores como Bedin et al. (2003) e Oliveira et al. (2012), que estudando solos com diferentes capacidades de adsorção de P relataram que a planta absorve menos P em solo com maior quantidade de argila (maior CMAP) em comparação a um solo arenoso (menor CMAP), por causa da maior competição entre o solo e a planta pelo nutriente, a planta aperfeiçoa o uso de P na produção de matéria seca.

O aumento das doses de fósforo proporciona maior resposta da planta em relação à MSPA, sendo que na dose  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  (dose média) a produção da MSPA não foi afetada pelo tipo de solo (Figura 12b). As maiores respostas da planta em produção de MSPA foram encontradas, nos dois ciclos, quando se aplicou inicialmente no plantio as doses de 150 e  $300 \text{ mg dm}^{-3}$  para a cana-de-açúcar cultivadas em Neossolo e Argissolo, o que demonstra que esta faixa pode ser considerada como faixa adequada de fósforo disponível.

Em análise aos resultados encontrados na cana-de-açúcar de segundo ciclo para as variáveis, acúmulo de P, altura da planta, diâmetro de perfilho, número de perfilho e matéria seca, observa-se que maiores incrementos foram encontrados quando as doses de P, aplicadas no inicialmente do plantio, foram aumentadas na presença e na ausência de extrato de turfa, o que demonstra que o efeito residual do fósforo é afetado pela adição do FNR, bem como, pela sua quantidade. Kifuko et al.

(2007) relataram que existe uma relação positiva entre doses de fosfato natural reativo e quantidade de P disponível em experimento de incubação e de campo, demonstrando que a dissolução dos FNR foi favorecida pelo tempo de experimentação. Nota-se também que a resposta da planta é aumentada quando as doses de fosfato natural reativo são associadas ao extrato de turfa, isto provavelmente ocorre porque esta associação possibilita um aumento significativo no efeito residual do fósforo, o que proporciona maior absorção deste nutriente pela planta e conseqüentemente refletindo em maior produção de matéria seca nos dois solos.



**Figura 12.** Matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar no segundo ciclo em função dos solos em diferentes níveis de turfa (a) e função das doses de P em diferentes solos (b). ns, não significativo e \*\* significativo ( $p < 0,01$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. DMS = 9,9: Letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro do Neossolo e letras maiúsculas comparam as doses de P dentro do Argissolo

Resultados favoráveis foram encontrados por Gullo (2007) em soqueiras de cana adubada com associação de fertilizante mineral e doses de  $600 \text{ L ha}^{-1}$  de substâncias húmicas aplicados no sulco de plantio em solo arenoso, obtendo-se como resposta um aumento na produtividade de colmo. Bolonhezi et al. (2013) aplicaram sobre linhas de soqueiras de cana cultivadas em Latossolo Vermelho textura média,  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de substâncias húmicas (12% ácido húmico e 3% de ácido fúlvico), e obteve resposta significativa no diâmetro do colmo e incrementos na produtividade de colmos. Segundo Silva et al. (2007), o efeito da adubação fosfatada associada a adubação orgânica proporciona aumento na absorção de P pela planta e no perfilhamento em cana-soca, cujo resultados provavelmente refletem em maior produtividade de colmos (Santos et al., 2009).

Além disso, a absorção do P pela cana-de-açúcar de segundo ciclo é beneficiada pela dissolução do fosfato natural reativo, aplicado inicialmente no plantio, que por ser uma fonte de baixa velocidade na liberação de P em relação às fontes solúveis em água, sincroniza a mineralização da matéria orgânica com a sua solubilização, assim o efeito da adsorção é diminuído e conseqüentemente aumentado seu efeito residual do P, o que proporciona melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas (Resende et al., 2006).

Os resultados obtidos neste experimento com emprego de uma dose de extrato da turfa ( $520 \text{ L ha}^{-1}$ ), como fonte de substâncias húmicas, associada a fertilizantes fosfatados em cana-de-açúcar, pode se tornar uma maneira mais viável para a obtenção de maior produtividade de colmos de cana-de-açúcar nos dois ciclos iniciais. Considerando, também, que aplicação da turfa na forma líquida é relativamente mais fácil e menos onerosa do que a turfa no estado sólido, principalmente devido à diferença de volume, uma vez que para se obter ganhos significativos com a aplicação de turfa sólida são necessários cerca de  $25 \text{ t ha}^{-1}$  em cultura de cana-de-açúcar (Matias, 2010). Mas, ainda é necessário complementar esta pesquisa com ensaios de campo, para que se possibilitem mais conclusões a respeito do uso deste extrato da turfa na cultura de cana-de-açúcar.

### 3.4 Conclusões

A aplicação de extrato de turfa proporcionou maiores teores de fósforo e matéria orgânica no solo;

O fosfato natural reativo proporciona um bom efeito residual de fósforo disponível, independente da sua associação com o extrato de turfa;

O nível adequado de fósforo para a planta ocorreu entre as doses 150 - 300 mg dm<sup>-3</sup> de fosfato natural reativo;

O uso de fosfato natural reativo associado ao extrato de turfa proporcionou maiores incrementos nas variáveis estudadas da cana-de-açúcar para os dois ciclos comparados ao fosfato natural isolado;

A presença das substâncias húmicas proporcionou incremento significativo nas plantas de cana-de-açúcar cultivadas nos dois solos independente do ciclo;

O uso do extrato da turfa pode se transformar em uma maneira viável de aumentar a eficiência agrônômica da cana-de-açúcar.

### 3.5 Referências

Almeida Júnior, A. B., Nascimento, C. W. A., Sobral, M. F., Silva, F. B. V., Gomes, W. A. 2011. 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-PB, 15 (10), 1004–1013.

Araujo, P. S., Goedert, J. W., Lacerda, M. P. C. 2007. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, 31, 1099-1108.

Barbosa, J. C., Maldonado Jr., W. 2011. *AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos*. Versão 1.1.0.626.

Bastos, A. L., Costa, J. P. V., Silva, I. F., Raposo, R. W. C., Souto, J. S. 2008. Influência de doses e fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, 12, 136-142.

Bataglia, O. C., Furlani, A. M. C., Teixeira, J. P. F., Furlani, P. R., Gallo, J. R. 1983. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agronômico, 8-10 (Boletim técnico nº 78).

Basamba, T. A., Barrios, E., Amezcua, E., Rao, I. M., Singh, B. R. 2006. Tillage effects on maize yield in a Colombian savanna oxisol: Soil organic matter and P fractions. *Soil & Tillage Research*, Olshausenstr, 91, 131-142.

Bedin, I., Furtini Neto, A. E., Resende, A. V., Faquin, V., Tokura, A. M., Santos, J. Z. L. 2003. Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, 27, 639-646.

Benzoni neto, A. 2006. Programa tradecorp. In: *Novas tendências da nutrição organo-mineral em cana-de-açúcar*, 1, 2006, Araçatuba. Disponível em: < <http://www.udop@udop.com.br> >. Acesso em: 10 ago.2013.

Bolonhezi, A. C., Fernandes, F. M., Teixeira, E. B., Valério Filho, W. V., Schmitz, G. A. F. 2007. Substâncias húmicas aplicadas no sulco de plantio de duas variedades

de cana-de-açúcar. VII encontro brasileiro de substâncias húmicas – EBSH, Florianópolis-SC, 13, 70-72.

Bolonhezi, A. C., Godoy, I. L., Teixeira, E. B., Schmitz, G. A. F. Ribeiro, N. A. 2013. Ácidos húmicos e fúlvicos aplicados sobre soqueira de variedades de cana-de-açúcar com posterior incorporação em ambientes supressivos. VII Workshop Agroenergia. Ribeirão Preto.

Bot, A., Benites, J. 2005. The importance of soil organic matter, Key to drought-resistant soil and sustained food production. FAO- Soils Bolletim, New York, 80p.

Chiodini, B. M., Silva, A. G., Negreiros, A. B., Magalhães, L. B. 2013. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. Cultivando o saber, Cascavel, 6 (1),181-190.

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2a. ed. Revisada e atualizada. Rio de Janeiro-RJ, 212p.

Embrapa. 2013. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Brasília-DF: EMBRAPA. 353p.

Fraga, C. S. , Salcedo, I. H. 2004. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. Soil Science Society of America Journal, Madson, 68, 215-224.

Fravet, P. R. F., Soares, R. A. B., Lana, R. M. Q., Lana, A. M. Q., Korndörfer, G. H. 2010. 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-MG, 34, 618-624.

Garcia, J. C. 2005. Efeitos da adubação orgânica, associada ou não à adubação química, calagem e fosfatagem, nos rendimentos agrícolas e de aguardente teórica da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 82p.

Gullo, M. J. M. 2007. Uso de condicionadores de solo a base de ácido húmico na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Piracicaba, 2007. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Guppy, C. N., Menezies, N. W., Moody, P. W. & Blamey, F. P. C. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Australian Journal Soil Research*, Melbourne, 43,189-202.

Hoffmann, H. P., Santos, E. G. D., Bassinello, A. I., Vieira, M. A. S. , 2008. Variedades RB de Cana-de-Açúcar. Universidade Federal de São Carlos, Araras, 30p.

Horowitz, N., Meurer, E. J. 2004. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: Yamada, T.; Abdalla, S. R. S. (Eds.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 665-682.

Inman-Bamber, N. G., Smith, D. M. 2005. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, Amsterdam, 92, 185-202.

Kifuko, M. N., Othieno, C. O., Okalebo, J. R., Kimenye, L. N., Ndung'u, K. W., Kipkoech, A. K. 2007. Effect of combining organic residues with minjingu phosphate rock on sorption and availability of phosphorus and maize production in acid soils of Western Kenya. *Experimental Agriculture*, Bangor, 43, 51-66.

Matias, G. C. S. 2010. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba- SP, 174 p.

Matos, F. V. 2008. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em argissolos sob adubação orgânica e mineral. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, 43(9), 1221-1230.

Marques, M. O. 2006. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: Segato, S. V. et al. (Org.). *\_Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba-SP, 2, 369-375.

Meurer, E. J. 2012. Fundamentos da química do solo. Porto Alegre: Genesis, 5ed, 280 p.

Mielniczuc, J. 2008. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistema agrícola. In: Santos, G. A., Silva, L. S., Canellas, G. A., Camargo, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre: Metrôpole, 1-18.

Nard, S., Pizzaghello, D., Muculo, A., Vianello, A. 2002. Physiological effect of humic substance on higher plants. *Soil Biology e Biochemistry*, Kidlington, 34, 1527- 1536.

Novais, R. F., Alvarez, V. H., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B. Neves, J. C. 2007. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, 1017 p.

Oliveira, F. M., Aspiazú, I., Kondo, M. K., Borges, I. D., Pegaroro, R. F., Vianna, E. J. V. 2011. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, Chapadina-MA. 5 (1), 56-67.

Oliveira, P. S. R., Deminicis, B. B., Castagnara, D. D., Gomes, F. C. N. 2012. Efeito da adubação com fósforo do capim mombaça em solos com textura arenosa e argilosa. *Archivos de Zootecnia*. 61 (235), 397-406.

Olsen, S. R. and Watanabe, F. S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir Isotherm. *Soil Science Society of America Journal*, New York, 21, 144-149.

Opala, P. A., Okalebo, J. R., Othieno, C. O. and Kisinyo, P. 2010. Effect of organic and inorganic phosphorus sources on maize yields in an acid soil in western Kenya. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, 86, 317-329.

Ourives, O. E. A., Souza, G. M., Tiritan, C. S., Santos, D. H. 2010. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *brachiaria brizantha* cv. Marandú. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia-GO, 40, 126-132.



Pavinato, P. S., Rosolem, C. A. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, 32, 911-920.

Penatti, C. P., Cambria, S., Boni, P. S., Arruda, F. C. de O., Manoel, L. A. 1988. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio em soqueiras de cana-de-açúcar. *Boletim Técnico Copersucar*, Piracicaba-SP, 44, 32-38.

Raij, van B., Cantarella, H. 1997. 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*. Campinas, Instituto Agrônomo (Boletim técnico nº 100). p. 231-243.

Raij, B. van, Andrade, J. C., Cantarella, H., Quaggio, J. A. 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo. 2001. 285p.

Resende, A. V., Furtini Neto, A. E., Alves, V. M. C., Muniz, J. A., Curi, N., Lago, F. J. 2006. Resposta do fósforo a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras-MG, 30, 458-466.

Santos, V. R. dos, Moura Filho, G., Albuquerque, A. W., Costa, J. P. V. da; Santos, C. G. dos, Santos, A. C. I. dos. 2009. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, 13 (4), 389–396.

Santos, D. H., Tiritan, C. S., Foloni, J. S. S. 2012. Efeito residual da adubação fosfatada e torta de filtro na brotação de soqueiras de cana-de-açúcar. *Revista Agrária*, Dourados-MG, 5, 1-6.

Sarto, M. D., Bolonhezi, A. C., Fernandes, F. M., Teixeira, E. B., Valério Filho, W. V., Schmitz, G., A. F., Souza, C. R. 2008. Ácidos húmicos e fúlvicos aplicados no sulco de plantio de variedades de cana-de-açúcar em solo de cerrado. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 9., Maceió, 2008. *Anais... Maceió: STAB*, 2008. p. 519-523.

Silva, M. A., Gava, G. J. C., Caputo, M. M., Pincelli, R. P., Jerônimo, E. M., Cruz, J. C. S. 2007. Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. *Bragantia*, Campinas-SP, 66, 545-552.

Stamford, N. P., Santos, C. E. R. S., Stamford, W. P. J., Dias, S. H. L. 2006. Rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and nutrient uptake in a Brazilian soil. *Geomicrobiology Journal*, Philadelphia, 23, 261-265.

Stevenson, F. J. 1986. Cycles of carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients. John Wiley and Sons, New York, 376p.