

## Fontes fosfatadas e substâncias húmicas na disponibilidade de fósforo em neossolo e argissolo

Paulo Sergio Silva Bezerra<sup>1\*</sup>, Brendha Araújo de Sousa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Agronomia (Ciência do solo), Professor Adjunto do Departamento de Química da Universidade Federal do Maranhão, Brasil. (\*Autor correspondente: paulo.bezerra@ufma.br).

<sup>2</sup>Graduanda em Química Licenciatura, Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 18/04/2022 – Revisado em: 14/09/2022 – Aceito em: 12/10/2022

### RESUMO

A interação entre doses de extrato de turfa enriquecida com substâncias húmicas e fontes de fósforo foi avaliada na disponibilidade deste nutriente em diferentes classes de solos. O estudo foi desenvolvido em Laboratório da Universidade Federal do Maranhão/UFMA, utilizando copos descartáveis de 200mL para estoque do solo. 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 fósforo: superfosfato triplo (SFT), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR), fosfato monoamônico (MAP), com dose constante de P (150 mg.dm<sup>-3</sup>) e cinco doses de turfa (0, 100, 200, 400 e 800 L.ha<sup>-1</sup>). 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 e valor de pH. A interação de substâncias húmicas e fosfato melhorou o valor de pH dos solos. A adição de substâncias húmicas associada a todas as fontes fosfatadas aumentou o P disponível nos solos. A dose de extrato que produziu maiores incrementos dos teores de P nos solos varia entre 500 a 580 L.ha<sup>-1</sup> de extrato.

**Palavras-Chaves:** Adsorção de fósforo, Fósforo disponível, Matéria orgânica, Extrato de turfa, Efeito residual.

## Phosphorus sources and peat on phosphorus availability in a quartzisamment 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 of Maranhão / UFMA using 200mL disposable cups for soil storage. 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 mg.dm<sup>-3</sup>) 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 and pH. The interaction between humic substances and phosphate improved the pH value of the soils. The addition of humic substances associated with all the phosphate sources increased the P available in the soils. The dosage of extract that produced larger increments in the P levels of the soils varies between 500 and 580 L.ha<sup>-1</sup> of extract.

**Keywords:** Adsorption of phosphorus, Available phosphorus, Organic matter, Extract peat, Residual effect.

Bezerra, P. S. S., Sousa, B. A (2023). Fontes fosfatadas e substâncias húmicas na disponibilidade de fósforo em neossolo e argissolo, v.11, n.1, p.02-14.



## 1. Introdução

As limitações na disponibilidade de P (fósforo) no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo com aumento do suprimento de P a níveis adequados (Gatiboni et al., 2007). Neste contexto, é importante o uso adequado de adubação, especialmente em solos tropicais que normalmente apresentam baixo teor de Fósforo(P) disponível, pois esta disponibilidade é afetada por adsorção, através da complexação do Fósforo (P) com coloides de Fe (ferro) e Al (alumínio) em solos ácidos e precipitação com Ca em solos calcários (Fernandes et al., 2006).

Uma forma de minimizar a deficiência de P aumentando seu aproveitamento é associar o uso do fertilizante fosfatado com adubos orgânicos (Abolfazli, Forghani e Norouzi, 2012). Um desses adubos é a turfa, potencialmente rica em substâncias húmicas e 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 matéria Orgânica (MO) destes materiais orgânicos proporciona incremento de substâncias húmicas (SH) no solo, o que pode minimizar o processo de adsorção de P (Rosato, Bolonhezi e Ferreira, 2010).

Segundo Cessa et al. (2010), a adição de substâncias húmicas proporciona aumento na quantidade de cargas negativas no solo, portanto, maior competição por cargas positivas, este processo de dissociação cumpre um papel fundamental na adsorção do P aumentando a disponibilidade deste nutriente no solo (Pavinato, Merlin e Rosolem, 2008). Além disso, solos com baixa quantidade de argila (arenoso) possui baixa CMAP enquanto o solo com textura argilosa possui maior adsorção de P, ou seja, uma CMAP bem maior, por isso é necessário estudo visando verificar o quanto esta diferença pode afetar na biodisponibilidade do P. Assim também, a aplicação de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas visando o aumento na disponibilidade de P têm sido pouco estudadas em solos com diferentes capacidades de adsorção (Cessa et al., 2009).

Porém, Guppy et al. (2005) demonstraram resultados antagonísticos a respeito da disponibilidade de P e absorção deste nutriente pela planta, pois dependendo da concentração das substâncias húmicas e do pH do solo esta interação pode proporcionar resultados antagonísticos na disponibilidade de P. Pinheiro, Silva e Furtini Neto (2010) mostraram que o aumento na concentração de ácido húmico no solo provocou redução linear da altura e do diâmetro do caule de mudas de eucalipto em solos do sudeste. Porém, Oliveira et al. (2013) obtiveram aumento significativo na produtividade de cana-de-açúcar quando associou adubação mineral e extrato comercial proveniente da turfa na dose de 250 L.ha<sup>-1</sup>, em Latossolo vermelho distrófico.

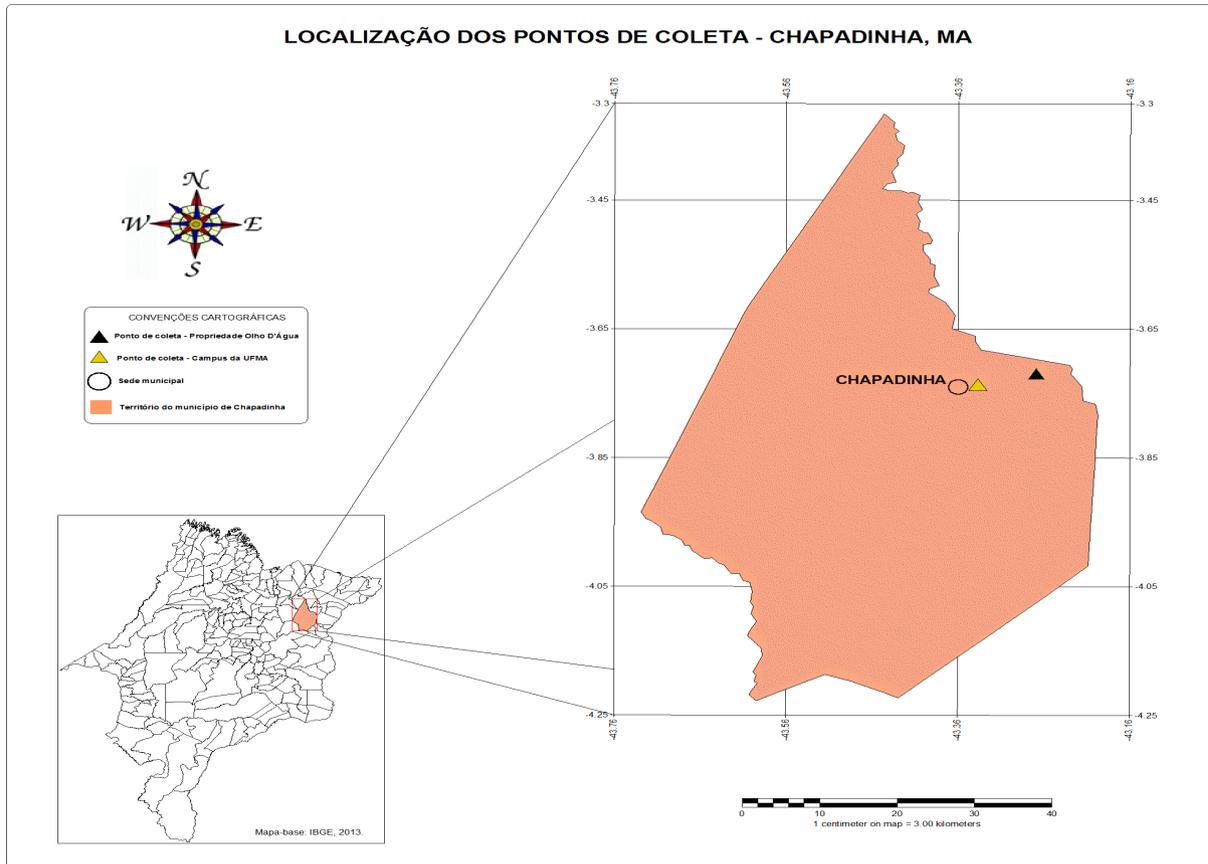
Nesse aspecto, são necessários mais estudos sobre o uso da aplicação de substâncias húmicas associado a fertilizantes fosfatados. Considerando que pode existir efeito tanto positivo como negativo. Desta forma, com o presente estudo objetivou-se avaliar os efeitos da associação de fontes de P com doses de extrato de turfa, na disponibilidade de P em solos com capacidades de adsorção diferentes, além de determinar uma dose adequada de extrato de turfa capaz de proporcionar maior quantidade de P disponível para a planta em diferentes fontes de fosforo aplicadas.

## 2. Material e Métodos

Foram utilizados dois solos para esse estudo, sendo classificados de acordo com Embrapa (2013), como Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (PVAd), coletados no município de Chapadinha, respectivamente na área da Universidade Federal do Maranhão situado a 3° 44' 50'' S, 43° 21' 12'' W e na Fazenda Olho D'água situado a 3°43'20'' S, 43°16'17''W, o clima, segundo classificação climática de Köppen se enquadra na tipologia B<sub>1</sub>WA'a' quente e subhúmido (tropical úmido), com temperatura média anual de 29° C e médias pluviométricas entre 1600mm e 2000mm, a altitude é de 110m (Figura 1).

O experimento foi conduzido em Laboratório da Universidade Federal do Maranhão/UFMA, usando-se copos de 200mL como forma de estocar o solo coletado para posterior tratamento, já anteriormente classificados. Estes solos possuíam textura média/média classificados de acordo com metodologia descrita em Embrapa (2013).

**Figura 1** – Local dos pontos de coleta dos solos na cidade de chapadinha



Fonte: Autores (2020)

Antes da instalação do experimento, duas parcelas para determinação dos atributos físicos e químicos foi retirada da amostragem do solo na camada de 0-20 cm de profundidade. Em uma das parcelas foi feita as análises granulométricas, onde se determinou o teor de areia, silte e argila, pelo método do densímetro de acordo com Embrapa (2011) e na outra parcela do solo foi feita a análise química para fins de fertilidade e determinação da capacidade de adsorção do fósforo (CMAP), conforme metodologia descrita em Raj et al. (2001).

A capacidade máxima de adsorção do fósforo (CMAP) foi obtida pelo método descrito por Olsen & Watanabe (1957). Os dados foram ajustados para à equação linear da isoterma de Langmuir:

$$\frac{C_{eq}}{Q} = \frac{1}{ab} + \frac{C_{eq}}{b} \quad (1)$$

Onde:  $C_{eq}$  = concentração de P em  $mg.L^{-1}$  na solução de equilíbrio, Q = a razão entre a massa de P adsorvido e a massa de solo, em  $mg.kg^{-1}$ , a = constante relacionada com a energia de retenção dos íons, b = adsorção máxima de P.

Para a instalação do experimento, as amostras dos dois solos coletadas foram peneiradas e acondicionadas 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  $200 mg.dm^{-3}$  de N (ureia - 44%) e  $150 mg.dm^{-3}$  de K (cloreto de potássio - 60% de  $K_2O$ ). As adubações com cobre e zinco foram feitas adicionando-se 5  $mg.kg$  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, 2011).

Os frascos foram arranjados em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 4 x 5 com três repetições, sendo dois solos (Neossolo e Argissolo), quatro fontes fosfatadas (superfosfato triplo, superfosfato simples, fosfato monoamônico e fosfato natural reativo) e cinco doses do extrato de turfa (0, 100, 200, 400 e 800  $L.ha^{-1}$ ). 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: superfosfato simples – SFS (16% de  $P_2O_5$  solúvel em água e 18% solúvel em solução de citrato de amônio + água); superfosfato triplo – SFT (37% de  $P_2O_5$  solúvel em água e 41% solúvel em solução de citrato de amônio + água); fosfato monoamônico – MAP (44% de  $P_2O_5$  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  $150 mg.dm^{-3}$  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 =  $1,04 g.dm^{-3}$ , densidade a base seca =  $0,21 g.dm^{-3}$ , pH 5,3, CTC =  $420 mmolc.dm^{-3}$ , matéria orgânica =  $770 g.dm^{-3}$ ,  $74,1 g.L^{-1}$  de ácido fúlvico,  $53,4 g.L^{-1}$  de ácido húmico,  $0,75 mg.dm^{-3}$  de fósforo solúvel. O extrato de turfa foi aplicado na superfície do solo com pipeta. Após 30 e 60 dias de incubação, amostras de cada frasco foram coletadas para determinação do P-resina e valor de pH em  $CaCl_2$  (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).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Caracterização da amostra do solo

A Tabela 1 apresenta os resultados da determinação dos atributos físicos e químicos da amostragem do solo, importante também para fins de fertilidade e determinação da capacidade de adsorção do fósforo (CMAP).

**Tabela 1** – Caracterização dos atributos químicos e físicos dos solos Neossolo e Argissolo a 0-20 cm de profundidade

SOLOS	Atributos químicos											
	pH	P(resina)	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>	-----			mmolc.dm <sup>-3</sup> -----				----%----	
Neossolo	3,6	5	17	8	3	0,3	0,9	15	11,3	26,3	43	8

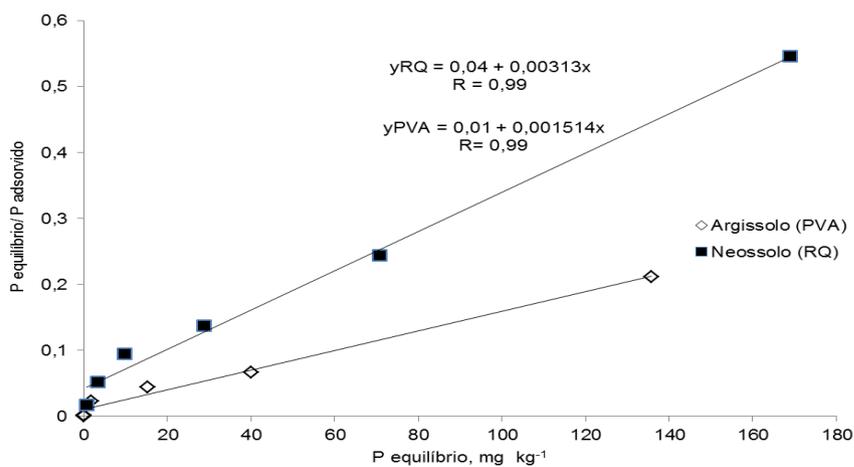
Argissolo	3,7	6	19	19	10	0,6	1,7	31	29,6	60,6	49	6
	Atributos físicos						Micronutrientes					
	Argila	Silte	Areia				Cu	B	Mn	Fe	Zn	
	-----g.kg <sup>-1</sup> -----						-----mg.kg <sup>-1</sup> -----					
Neossolo	139	91	770				0,1	0,2	0,9	79	0,3	
Argissolo	185	204	611				0,1	0,3	3,6	136	0,7	

**Legenda:** 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.

**Fonte:** Autores (2020)

A figura 2 mostra a curva analítica com ajuste da equação de Langmuir. A partir da aplicação da equação da reta de cada amostra de solo, determinou-se os valores das capacidades máximas de adsorção de fósforo para cada solo, sendo CMAP(Neossolo) = 319 mg.kg<sup>-1</sup> e CMAP(Argissolo) = 660 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Figura 2** – 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



**Fonte:** Autores (2020)

### 3.2 Disponibilidade de P obtido por resina nos tratamentos com diferentes fontes, solos e doses de turfa.

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<sup>+</sup> do solo (Tabela 2).

Observa-se na tabela 2 que houve interação somente entre solo e fontes de P nos dois períodos de incubação para a variável P disponível, isto demonstra que existem diferenças intrínsecas de cada solo que promovem incrementos diferentes na disponibilidade de P quando são submetidos a fontes distintas.

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

**Legenda:** (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 de pH nas fontes de fósforo, P disponível isoladamente dentro das fontes de P, das doses de extrato de turfa e fontes de P.

**Fonte:** Autores (2020)

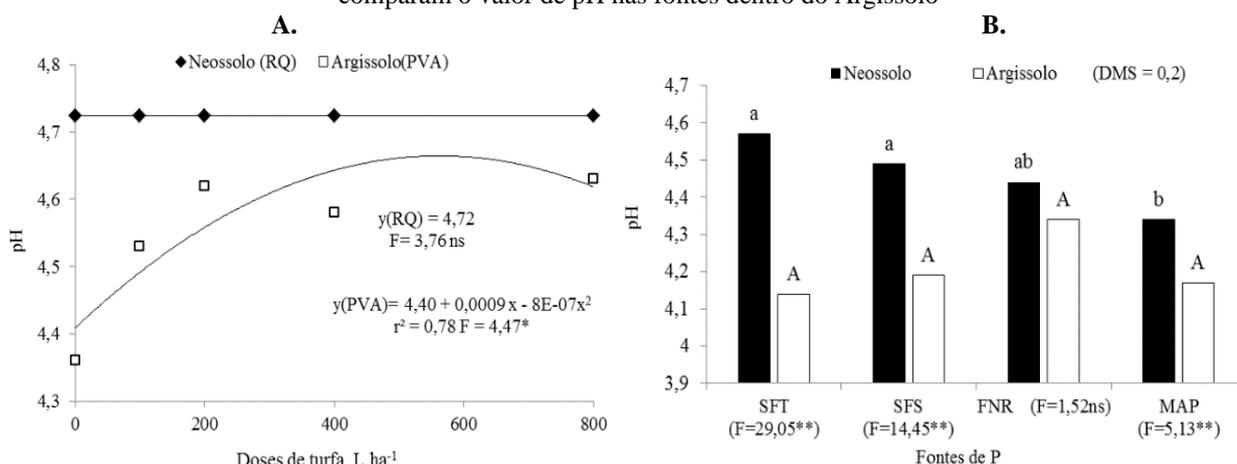
Desdobrando a interação solo e dose do extrato de turfa para a variável pH aos 30 dias de incubação observa-se que o resultado do pH no Neossolo foi constante e o Argissolo apresentou efeito significativo com ajuste quadrático (Figura 3A), porém, o ponto de máximo de pH encontrado é menor que o valor 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 3B). Observa-se que os maiores valores de pH foram encontrados no Neossolo (Figura 3). Estes resultados devem estar ligados com a menor capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) deste solo (319 mg.kg<sup>-1</sup>) em relação ao Argissolo (660 mg.kg<sup>-1</sup>), conforme demonstrado pela Figura 2, pois menor quantidade de íon fosfato adsorvido refletirá em mais de cargas negativas na solução do solo. Estas cargas reagirão com o H<sup>+</sup> do meio para manter um equilíbrio químico, diminuindo a acidez (Santos et al., 2007). Nota-se que não houve variação significativa

do pH entre os solos para a fonte FNR, isto provavelmente ocorre devido a sua menor solubilidade que 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; este processo independe das características do solo.

Ao mesmo tempo, pode-se concluir que a presença das substâncias húmicas no solo possibilita a redução da atividade de  $H^+$ , pois são moléculas de ácidos fracos e 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 (Santos et al., 2007).

A falta de fósforo na planta pode afetar diretamente no seu desenvolvimento fisiológico, tal como a adição de substâncias húmicas no solo podem melhorar a disponibilidade de P para a planta. Para Bernardes e Orioli Jr. (2018), o não fornecimento de fósforo restringiu o número de folhas fotossinteticamente ativas (NFFA), de perfilhos (NPERF) e a massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de trigo de forma acentuada. Segundo eles a aplicação isolada de SH não proporcionou benefício às plantas de trigo, uma vez que este tratamento propiciou NFFA, NPERF e MSPA semelhantes à testemunha (sem P e sem SH)

**Figura 3** – 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 maiúsculas comparam o valor de pH nas fontes dentro do Argissolo



Fonte: Autores (2020)

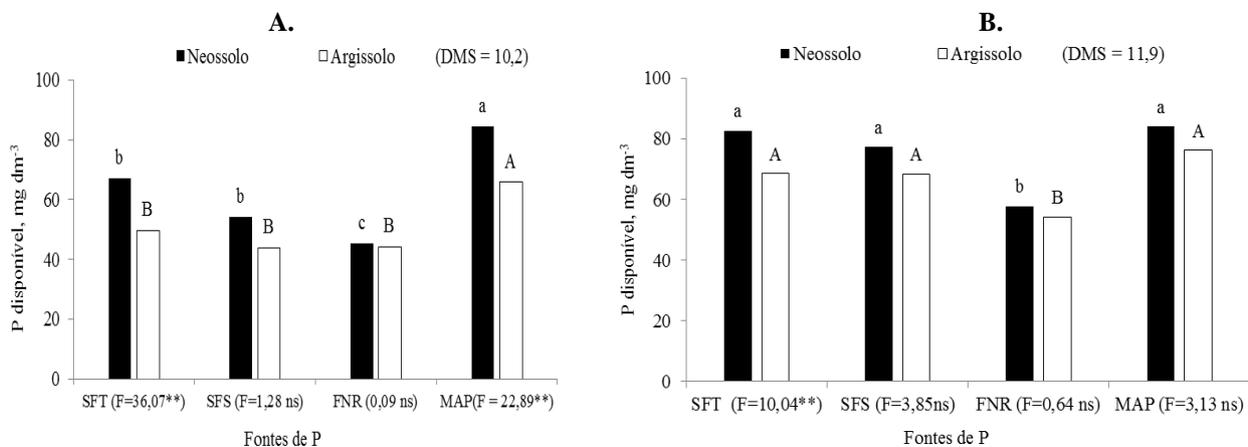
Para o P disponível em função das fontes de P, aos 30 dias de incubação, houve efeito positivo dentro dos dois solos com maior resposta para o fertilizante MAP. Também, somente as fontes MAP e SFT apresentaram diferença, com maior teor de P disponível no Neossolo (Figura 4A).

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 lentidão na 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 (Caione et al., 2011).

Embora não existindo diferença significativa 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 4), possivelmente pela interação sinérgica entre a liberação de substâncias húmicas (cargas negativas) pela turfa e as cargas positivas existente no solo. Além disto, os ácidos orgânicos, proveniente do extrato de turfa adicionado, competem por sítios positivos que normalmente se ligariam com o fosfato, deixando-os disponíveis na solução do solo (Ourives et al., 2010). Para Andrade et al. (2007) e Cessa et al. (2010), 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, Takiyama e Bezerra (2009), a matéria orgânica dissolvida na solução 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, este fenômeno pode favorecer a disponibilidade de P.

Alguns autores como Pavinato & Roselem (2008) 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 se deve 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 e aumento do pH.

**Figura 4** – Teor de P disponível em função das fontes de P em Neossolo e Argissolo, DMS=10,2 aos 30 dias (A) e aos 60 dias(B) de incubação do solo DMS=11,9. 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



Fonte: Autores (2020)

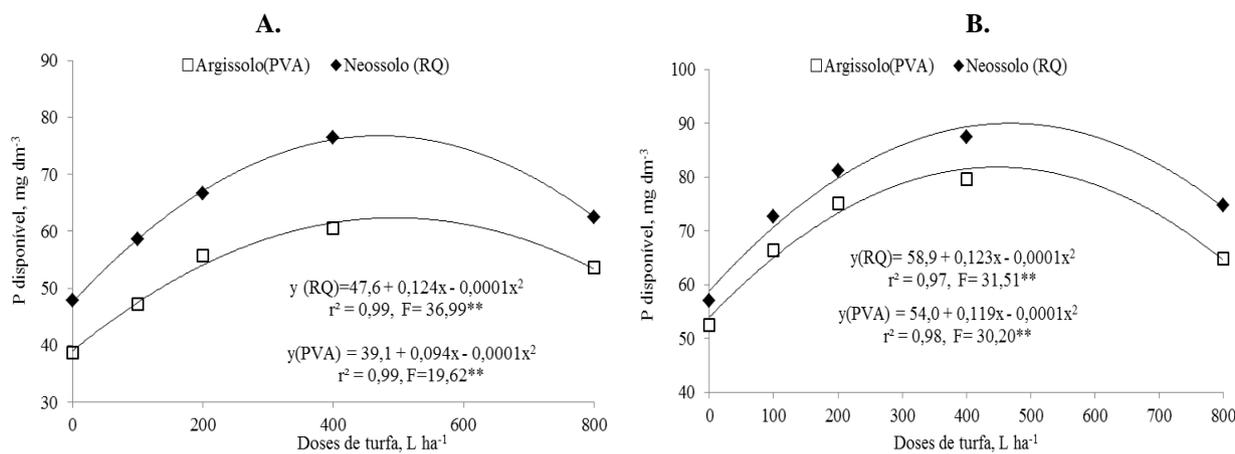
O tratamento destes resultados também permite sugerir a melhor dose extrato de turfa que proporcione maiores teores de fósforo disponível no solo. As doses do extrato de turfa que promoveram maior disponibilidade de P no Neossolo e no Argissolo foram 560 L.ha<sup>-1</sup> e 470 L.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, 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 L.ha<sup>-1</sup> para o Neossolo e 595 L.ha<sup>-1</sup> no Argissolo (Figura 5B). Maior disponibilidade de P é encontrada nos dois períodos de incubação no Neossolo (CMAP=319 mg.kg<sup>-1</sup>), isto provavelmente ocorre devido a sua menor capacidade em adsorver fósforo em relação ao Argissolo (CMAP=660 mg.kg<sup>-1</sup>).

O aumento do tempo de incubação provoca um aumento na melhor dose de extrato, isto se dá por que há menor liberação de compostos orgânicos competitivos para o meio aquoso, interferindo na eficiência da

disponibilidade do P. 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 e extrato de turfa. Porém pode-se observar que a adição do extrato de turfa aumentou a disponibilidade de P nos dois períodos de incubação e solos, independente da capacidade de adsorção de cada solo.

Segundo Bezerra, Prado e Shigaki (2015), 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.

**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 ( $p < 0,05$ )



Fonte: Autores (2020).

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.

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 mg.dm<sup>-3</sup> para o SFT, 78,9 mg.dm<sup>-3</sup> para o SFS, 58,3 mg.dm<sup>-3</sup> para o FNR e 89,3 mg.dm<sup>-3</sup> para o MAP, nas doses de máxima eficiência 530, 650, 550 e 500 L.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 5A).

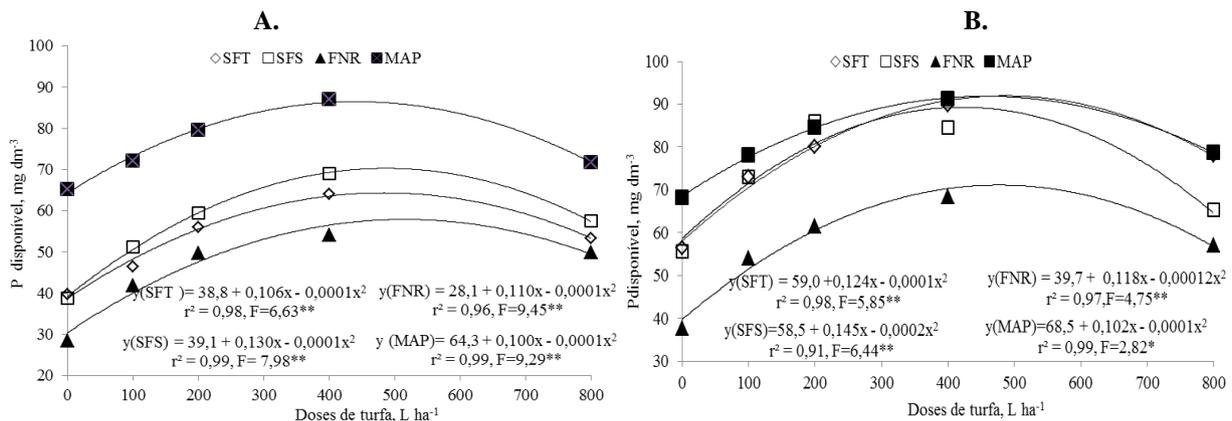
Os valores máximos de P disponível encontrados para cada fonte aos 60 dias de incubação do solo foram 94,9 mg.dm<sup>-3</sup> para o SFT, 81,4 mg.dm<sup>-3</sup> para o SFS, 68,7 mg.dm<sup>-3</sup> para o FNR e 94,5 mg.dm<sup>-3</sup> para o MAP, nas doses 620, 362, 490 e 510 L.ha<sup>-1</sup> do extrato de turfa, respectivamente. A ordem decrescente para o efeito da disponibilidade de P no solo foi SFT>MAP>SFS>FNR (Figura 5B). 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.

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 (Caione et al., 2011).

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.

**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)



Fonte: Autores (2020)

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., 2007; Almeida Junior et al., 2011). Mas, segundo Barbosa (2020), analisando aplicação de fontes fosfatadas em Latossolo na cultura de soja, observou que os fertilizantes fosfatados solúveis, MAP, SS, ST aumentaram a produtividade da soja e os teores de P no solo nas frações lábeis e de menor labilidade. A aplicação do FNR, mesmo após quatro safras consecutivas, não proporcionou incrementos na produtividade de grãos da soja, e com menores incrementos nos teores de P das frações lábeis no solo, comparado as fontes solúveis. Isto, sugere que o comportamento da absorção do fósforo no solo pela cultura em vários parâmetros necessita de mais estudos para uma conclusão mais efetiva.

Para De Assis et al. (2020), a produtividade de aquênios foi afetada pelos fatores testados, havendo interação significativa em dois solos. Para o Latossolo Vermelho-Amarelo o adubo MAP isolado pode ser aplicado 100% a lanço sem redução de produtividade e quando em conjunto com substâncias húmicas, no mínimo 33% da dose deve que ser aplicada no sulco de semeadura. No Latossolo Vermelho tanto o MAP quanto o adubo organomineral tem que ser aplicado no mínimo 67% da dose no sulco de semeadura e quando

for acrescido substâncias húmicas ao MAP, apenas 33% são necessários ser aplicado no sulco de semeadura, produzindo assim uma economia na fosfatagem.

Bezerra, Prado e Shigaki (2015), avaliaram experimentalmente o fosfato natural (FNR) associado a diferentes doses de substâncias húmicas em um vaso preenchido com 20 kg de solo contendo planta de cana-de-açúcar, variedade RB 867515, concluiu-se que o acúmulo de fósforo e matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar, 180 dias após plantio e 120 dias após o primeiro corte, sinalizou um maior incremento na matéria seca da cana-de-açúcar para os dois ciclos e diferentes solos em relação ao fosfato isolado, demonstrando que esta cultura aproveita significativamente o fósforo disponibilizado a partir de interação P x SH.

#### 4. Conclusão

Portanto, através dos resultados obtidos, pode-se concluir que a interação substâncias húmicas e fosfato melhora o valor de pH dos solos, proporcionando melhor ambiente para o aumento da disponibilidade de P e que a adição do extrato de turfa incrementa a disponibilidade de P nos dois solos, porém maiores valores são encontrados no Neossolo devido as suas características intrínsecas, notando-se também que a presença de substâncias húmicas proporcionou aumento na disponibilidade de P em todas as fontes estudadas (SFT>MAP>SFS>FNR).

Destacando-se também que a dose do extrato de turfa que proporciona maiores incrementos dos teores de P nos solos pelas fontes fosfatadas se encontra entre as doses 500 e 580 L.ha<sup>-1</sup> do extrato, demonstrando uma possibilidade viável economicamente (devido ao preço e sua manipulação) para se obter aumento da quantidade de fósforo disponível no solo para a absorção da planta. Além disso, cria-se uma possibilidade para novos estudos sobre o uso excessivo do fosfato, que é uma fonte finita, transformando o fósforo que se encontra no solo de forma complexada em disponível, através da competição entre compostos orgânicos e o íon fosfato no solo.

#### 5. Agradecimentos

Ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais por ter cedido o Laboratório de Química para alocação do solo, a Universidade Federal do Maranhão ter possibilitado todas as análises destes solos e Empresa Porto Branco S.A, por nos conceder a TURFA líquida para enriquecimento do solo com matéria orgânica.

Este artigo é parte fragmentada da Tese intitulada “Substâncias húmicas e fontes de fósforo: teor de fósforo disponível em solos e absorção pela cana-de-açúcar”, por isso agradeço a todos que contribuíram para desenvolvimento dos dados.

#### 6. 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**, 12(2), 349-362.
- Almeida Júnior, A. B. D., do Nascimento, C. W., Sobral, M. F., da Silva, F. B., & 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**, 15, 1004-1013.
- 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**, 38(4), 2733-2745.

Barbosa, J. C., & Maldonado Jr, W. (2011). **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**, versão 1.1. 0.626. Jaboticabal: FCAV/UNESP.

Barbosa, K. P. Fontes e Formas de Aplicação de Fertilizantes Fosfatados em Cultivos Consecutivos de Soja em Latossolo de Alta Fertilidade. **Tese de Doutorado**. Instituto Federal Goiano (IFG), Programa de Pós-Graduação em Ciências agrárias. 2020.

Bernardes, J. V. S., Orioli Junior, V. Fontes de Fósforo e Aplicação de Substâncias Húmicas no Cultivo de Trigo. **Anais do II Seminário de Pesquisa e Inovação Tecnológica**. ISSN 2594-7605 (Digital). V.2, nº 1, 2018.

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 Amazônica**, 39(3), 639-648.

Bezerra, P. S. S., Prado, R. M., & Shigaki, F. (2015). Natural phosphate and humic substances applied in quartzipsamment and kandiudult cultivated with sugar cane. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, 4(2), 153-163.

Caione, G., Lange, A., Benett, C. G. S., & Fernandes, F. M. (2011). Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 41(1), 66-73.

Cessa, R. M. A. C., Celi, L.; Vitorino, A.C.T., Novelino, J.O., & Barberis, E. (2009) Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 33:p. 1153-1162.

Cessa, R. M. A., Vitorino, A. C. T., Celi, L., Novelino, J. O., & Barberis, E. (2010). Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. **Revista Brasileira de ciência do solo**, 34, 1535-1542.

De Assis, V. F. C.; Valadão Júnior, D. D.; Alves, S. D.; Barrios, R. M. S.; Duarte, G. L. D. Fontes E Formas De Aplicação Da Adubação Fosfatada Na Cultura Do Girassol. **Nativa, [S. l.]**, v. 8, n. 5, p. 650-657, 2020. DOI:10.31413/nativa. v8i5.10190.

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2011). **Manual de métodos de análise de solo**. (2ª edição). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p.

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro. (3ª edição). 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**, 39(1), 1062-1065.

Gatiboni, L. C., Kaminski, J., Rheinheimer, D. D. S., & Flores, J. P. C. (2007). Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(4), 691-699.

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. **Soil Research**, 43(2), 189-202.

Oliveira, C. P., Alvarez, R. D. C. F., de Lima, S. F., & Contardi, L. M. (2013). Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes. **Revista Agrarian**, 6(21), 245-251.

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 of America Journal**, 21(2), 144-149.

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**, 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**, 32(3), 911-920.

Pavinato, P. S., Merlin, A., & Rosolem, C. A. (2008). Organic compounds from plant extracts and their effect on soil phosphorus availability. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43(10), 1379-1388.

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**, 34, 1217-1229.

Raij, B. VAN, Andrade, J. C.; Cantarella, H., & Quaggio, J. A. (2001). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 285p.

Rosa, A. H., de Oliveira, L. C., Bellin, I. C., Rocha, J. C., Romão, L. P. C., & Dias Filho, N. L. (2005). Influence of alkaline extraction on the characteristics of humic substances in Brazilian soils. **Thermochimica acta**, 433(1-2), 77-82.

Rosato, M. M., Bolonhezi, A. C., & Ferreira, L. H. Z. (2010). Substâncias húmicas sobre qualidade tecnológica de variedades de cana-de-açúcar. **Scientia Agraria**, 11(1), 43-48.

Santos, A. D., Botero, W. G., Bellin, I. C., Oliveira, L. C. D., Rocha, J. C., Mendonça, A. G. R., & Godinho, A. F. (2007). Interaction between humic substances and metallic ions: a selectivity study of humic substances and their possible therapeutic application. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 18(4), 824-830.