



## Acúmulo e produção de massa seca de plantas de milho cultivadas sob efeito residual de fontes alternativa de fósforo <sup>(1)</sup>.

**Mariana Peduti Vicentini Sab<sup>(2)</sup>; Caio Vilela Cruz<sup>(3)</sup>; Igor Vilela Cruz<sup>(3)</sup>; Marco André Grohskopf<sup>(3)</sup>; Dirceu Maximino Fernandes<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup>Trabalho executado com recursos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP/FCA). <sup>(2)</sup>Estudante de Graduação em Agronomia; Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP/FCA) Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, CEP: 18160-307 - Botucatu, SP, e-mail: [mp-sab@uol.com.br](mailto:mp-sab@uol.com.br) <sup>(3)</sup>Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura); Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP/FCA); Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, CEP: 18160-307 - Botucatu, SP, e-mail: [caiovilelac@hotmail.com](mailto:caiovilelac@hotmail.com), [igorv\\_cruz@hotmail.com](mailto:igorv_cruz@hotmail.com), [marcogrohskopf@gmail.com.br](mailto:marcogrohskopf@gmail.com.br); <sup>(4)</sup>Professor da UNESP/FCA; departamento de Solos e Recursos Ambientais, bolsista de produtividade do CNPq, e-mail: [dmfernandes@fca.unesp.br](mailto:dmfernandes@fca.unesp.br).

**RESUMO:** A produção de fertilizantes solúveis gera uma grande quantidade de resíduos, os quais não podem ser aproveitados pela indústria, porém apresentando quantidades consideráveis de fósforo. Assim, o presente trabalho tem o objetivo de estudar o efeito de doses de adubo fosfatado solúvel em água na cultura do milho cultivado sob efeito residual de rejeitos fosfatados da indústria de fertilizantes, superfosfato triplo e fosfato reativo em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) que estava sob cultivo de pastagem. Foi avaliado o acúmulo de P e produção de massa seca. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial 4x5, com dois cultivos sequenciais. A cultivar utilizada foi a 2B587 PW da Dow AgroSciences que é um híbrido simples, convencional, de ciclo precoce. Os tratamentos foram: os residuais de FP1, FP2, FR e SFT e cada um adubado com 0, 30, 60, 90 e 120 mg/dm<sup>3</sup> equivalente em SFT. O acúmulo do fósforo e a produção de massa seca da parte aérea foi maior com o efeito residual da calagem. O uso de fontes solúveis no solo sob residual dos rejeitos é uma melhora o acúmulo de P e a produção de massa seca. Os rejeitos industriais, parecem ser promissores para uso como fertilizantes fosfatados.

**Termos de indexação:** Resíduos fosfatados, calagem, disponibilidade de fósforo

### INTRODUÇÃO

O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. Apresenta grande complexidade quanto à adubação e reações no solo pela grande capacidade de adsorção desse nutriente no solo, sendo a principal responsável pela baixa eficiência da adubação fosfatada para as culturas (Novais et al., 2007).

Os fertilizantes fosfatados solúveis em água são os mais utilizados na agricultura e apresentam grande eficiência agrônômica a curto prazo, mas apresentam maior tendência a retenção no solo à medida que aumenta o tempo de contato do fertilizante no solo.

Sua produção industrial gera uma grande quantidade de resíduos (rejeitos) que podem causar problemas ambientais pois são acumulados nos pátios das indústrias.

Alguns destes resíduos ainda possuem quantidades consideráveis de P e o uso destes na agricultura pode contornar o problema da geração de resíduos. Assim, vem sendo proposto, nos últimos anos, o uso destes como fontes alternativas de fósforo na agricultura. Considerando que os fertilizantes fosfatados utilizam como matéria prima rochas fosfatadas, que são finitas, o aproveitamento de fontes alternativas que ainda tem potencial fertilizante é de grande importância para a agricultura brasileira e para o melhor uso e aproveitamento deste importante nutriente.

É interessante e necessário gerar conhecimento sobre o efeito destes resíduos no solo, em diferentes culturas. Já se sabe que os fosfatos de baixa reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, fazem com que ocorra redução nos processos de fixação e podem favorecer o aproveitamento pela planta, com prolongado efeito residual, e geralmente apresentam maior eficiência agrônômica ao longo do tempo. Alguns destes resíduos podem apresentar o mesmo comportamento e fornecer os nutrientes ao longo de tempo.

Algumas fontes de fósforo necessitam de condições ácidas para sua solubilização, dependendo assim do pH mais ácido, porém a faixa de pH que determina maior disponibilidade de P está entre 5,5 e 7,0 (Prochnow et al. 2004).

A calagem é frequentemente usada para elevar o pH do solo aumentando a disponibilidade de fósforo.



Assim o presente trabalho tem o objetivo de estudar o efeito de doses de adubo fosfatado solúvel na cultura do milho cultivado em solo que recebeu adubação com resíduos da indústria de fertilizantes denominados: fosfatos precipitados 1 e 2 (FP1 e FP2), superfosfato triplo (SFT) e um fosfato reativo (FR), em um Latossolo Vermelho distrófico, que estavam sob cultivo de pastagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista - UNESP - campus de Botucatu, no período de 18 de novembro de 2014 e 17 de março a 2015. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), este solo estava sob cultivos de braquiária em vasos de 20L e havia sido aplicado, na dose de  $120\text{mg}/\text{dm}^3$  equivalente, dois rejeitos da indústria de fertilizantes fosfatados intitulados fosfato precipitado 1 e 2 (FP1 e FP2), superfosfato triplo (SFT) e um fosfato natural reativo (FR).

Essa braquiária foi conduzida sob efeito da calagem, recebeu aplicação do corretivo de acidez, utilizando-se calcário dolomítico (PRNT = 95; CaO = 29%; MgO = 18%; PN= 96%) para elevação da V% para 70 % e na ausência de calagem (mantendo as condições originais de acidez), essa braquiária foi cultivada por 6 meses e recebeu 3 cortes, sendo 1 a cada 60 dias.

As características químicas do solo no momento da implantação estão descritas na **tabela 01**, determinados conforme metodologias descritas por Raij et al. (2001).

No momento da implantação deste experimento a braquiária foi triturada em pedaços de aproximadamente 1cm e incorporada ao solo com ajuda de uma lona plástica limpa, após este procedimento foram retirados 3,6L de solo para cada unidade experimental.

Foram conduzidos dois experimentos com o delineamento experimental inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4 x 5 com quatro repetições.

O experimento 1 foi conduzido sob ausência do efeito residual da calagem, e o experimento 2 foi conduzido sob efeito residual da calagem. Os tratamentos constam para os dois experimentos com solo sob sob efeito residual das quatro fontes já citadas e cinco doses de superfosfato triplo (0, 30, 60, 90, 120 e  $\text{mg}/\text{dm}^3$  equivalentes em  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Os tratamentos foram incorporados ao solo de cada unidade experimental junto com 30  $\text{mg}/\text{vaso}^{-1}$  de N e 40  $\text{mg}/\text{dm}^3$  de  $\text{K}_2\text{O}$  nas formas de sulfato de amônio e cloreto de potássio. Aos 10 dias após a

semeadura foi realizada a aplicação de 0,2, 0,5, 5, 5  $\text{mg}/\text{dm}^3$  cobre, zinco, boro e manganês nas formas de cloreto de cobre, cloreto de zinco, ácido bórico e cloreto de manganês, sendo realizado com quantidades idênticas para todos os tratamentos. E aos 15 dias após a germinação foi realizada uma adubação com N aplicado na forma fluida, com 60  $\text{mg}/\text{vaso}$  de N na forma de uréia.

As sementes de milho foram tratadas com o fungicida Vitavax Thiram 200 SC (carboxina + tiram) na dose de 300 ml para 100 kg de sementes (cálculo feito para 1 kg de sementes), e com o inseticida Cruiser 700 WS (tiامتoxam) na dose de 150 g para 100 kg de sementes (cálculo feito para 1 kg de sementes). Foram semeadas 6 plantas de milho por vaso e aos 7 dias de germinadas foi feito o desbaste para 3 plantas por vaso, a partir do desbaste as plantas foram conduzidas até completarem 21 dias (estádio V6).

Os vasos foram mantidos sob irrigação com água, visando manter a umidade do solo próxima à 70% da capacidade de campo durante toda a condução do experimento.

No segundo cultivo foram aplicados 30  $\text{mg}/\text{vaso}^{-1}$  de N e 40  $\text{mg}/\text{vaso}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  nas formas de sulfato de amônio e cloreto de potássio, aos 7 dias de germinado na ocasião do desbaste. Aos 10 dias após a semeadura foi realizada a aplicação de 0,2, 0,5, 5, 5  $\text{mg}/\text{dm}^3$  de cobre, zinco, boro e manganês nas formas de cloreto de cobre, cloreto de zinco, ácido bórico e cloreto de manganês, sendo realizada com quantidades idênticas para todos os tratamentos. E aos 15 dias após a germinação foi realizada uma adubação com N sendo aplicado na forma fluida, com 60  $\text{mg}/\text{vaso}$  de N na forma de ureia.

Em cada cultivo, determinou-se a produção de biomassa seca da parte aérea das plantas, mediante corte realizado rente à superfície do solo.

Aos vinte e um dias após a emergência para cada cultivo de cada experimento foi realizada a colheita das plantas para a determinação da matéria seca da parte aérea. As plantas foram cortadas rente ao solo, acomodadas em sacos de papel devidamente identificados, colocadas para secar em estufa de ventilação forçada a  $65^\circ\text{C}$  até atingirem peso constante (4 dias), sendo posteriormente pesadas em balança de precisão de duas casas.

Após a pesagem do material seco as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley e encaminhadas para o laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do departamento de Solos e Recursos Ambientais da Unesp-Botucatu. O método utilizado foi segundo Malavolta et al. (1997).

O teor de fósforo ( $\text{g}/\text{kg}^{-1}$ ) de cada amostra foi multiplicando pela produção de massa seca de cada amostra ( $\text{g}/\text{vaso}^{-1}$ ), obteve-se assim o acúmulo de P



(mg/vaso) da parte aérea das plantas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, considerando delineamento de inteiramente casualizados no esquema fatorial, com avaliação do efeito dos tratamentos e comparação de médias pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) e o efeito das doses pela análise de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de P na parte aérea das plantas não diferiu entre as fontes testadas e não houve efeito da interação entre as fontes e doses de P quando da ausência da calagem. O efeito das doses de P sob o efeito residual das fontes incrementou o acúmulo de P de forma linear para todas as fontes, obtendo maiores valores entre as doses 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup> (**Tabela 02**).

Isso ocorreu, pois, o efeito do pH do solo, além da adubação fosfatada, constitui a maneira mais fácil e eficiente de aumentar os valores de fósforo na solução do solo, e conseqüentemente sua disponibilidade as plantas. Além da competição direta pelos sítios de adsorção exercida pelas hidroxilas, a elevação do pH aumenta as cargas negativas do solo, diminui o alumínio trocável e também a solubilidade dos compostos de ferro e de alumínio.

Os dados da **Tabela 01** demonstram esse efeito, sendo obtidos menores teores de P (mg dm<sup>-3</sup>) disponível quando o pH está em torno de 4,0, além de elevados teores de Al<sup>3+</sup> e baixos teores de bases trocáveis, em relação ao experimento com calagem.

O acúmulo de P sob efeito do residual da calagem obteve diferença estatística e interação entre residual da fonte e doses de adubo solúvel. Observou-se ajuste a uma regressão linear para fosfato precipitado 1 (FP1), fosfato reativo (FR) e superfosfato triplo (SFT). O fosfato precipitado 2 (FP2) não obteve uma regressão significativa (**Tabela 02**). Nesse experimento o maior acúmulo foi obtido para as fontes FP2 e FR, as fontes FP1 e SFT não diferiram entre si.

Os teores de P disponível extraído pela resina para FP2 e FP1 antes da implantação do experimento são altos, obtendo assim menores ou nenhuma resposta (**Tabela 02**).

Com relação à produção de massa seca da parte aérea, constatou-se que na presença de residual de calagem houve maior produção em todas as fontes e em todas as doses, quando comparado aos dados da condição de ausência de calcário.

Em solos com pH baixo há maior adsorção e precipitação do P, baixa percentagem de saturação por bases e aumento da disponibilidade de Al<sup>3+</sup>,

conforme apresentado na **tabela 01**, condições essas desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas.

Embora tenham se ajustado à regressão linear o FP1, FR e SFT na ausência de calagem e FP1 e SFT na presença de residual de calcário, não houve diferença estatística para os dados de matéria seca em nenhuma das duas situações (**tabela 3**).

Tanto na condição de residual de calcário quanto na ausência de calagem a produção de massa seca na fonte FP2 não apresentou diferença estatística conforme a dose, mantendo-se superior às outras fontes em todas as doses, enquanto SFT, a fonte mais solúvel, obteve baixo desempenho principalmente nas menores doses.

Esse resultado pode ser devido ao efeito residual prolongado do P em fontes menos solúveis, o que garante disponibilidade às plantas ao longo do tempo enquanto nas fontes solúveis há maior tendência à retenção e menor efeito residual. A **tabela 01** comprova que os teores de P eram maiores nos solos com fontes pouco solúveis (FP1 e FP2), tanto na ausência quanto na presença de efeito residual de calagem.

## CONCLUSÕES

O acúmulo do fósforo e a produção de massa seca da parte aérea foi maior com o efeito residual da calagem.

Os rejeitos industriais, parecem ser promissores para uso como fertilizantes fosfatados devido a seu maior efeito residual desde que utilizados junto da calagem.

O uso de fontes solúveis no solo sob residual dos rejeitos aumenta o acúmulo de P e a produção de massa seca.

## REFERÊNCIAS

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed) Fósforo na Agricultura Brasileira. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 605-663.

RAIJ, B. Van. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.



**Tabela 01.** Atributos iniciais da camada de 0 a 20 cm do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) utilizados no experimento. Botucatu, SP, 2014.

Tratamentos	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	Al	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----							%
<b>Residual Calagem</b>											
FP1	5,2	19	84	0	29	0,9	32	10	43	72	59
FP2	5,6	20	84	0	22	0,9	26	8	35	57	61
FR	5,3	16	45	0	30	1	27	14	42	71	58
SFT	5,0	18	34	0	35	0,8	27	11	38	74	52
<b>Sem Calagem</b>											
FP1	4,0	16	45	17	88	0,7	12	10	23	111	20
FP2	4,4	17	44	12	72	0,8	24	4	29	101	28
FR	4,1	15	32	16	82	0,7	15	1	16	98	16
SFT	3,9	16	33	21	100	0,6	10	3	13	114	12

Legenda - MOS = Matéria Orgânica do Solo; V: Saturação por Bases; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; P: fósforo extraível método da resina; K: potássio trocável.

**Tabela 2.** Acúmulo de P em parte aérea de plantas de milho, e Latossolo Vermelho distrófico (LVd) em resposta a aplicação de doses (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg dm<sup>-3</sup>) de fertilizante solúvel sob efeito residual de resíduos fosfatados, fosfato reativo e superfosfato triplo com e sem efeito residual da calagem.

Tratamento	Doses de SFT (equivalente a P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> em mg dm <sup>-3</sup> )					Equação de Regressão
	0	30	60	90	120	
<b>Residual da calagem</b>						
FP1	38,1 Aab	38,5 Aab	42,0 Abc	46,0 Aab	48,4 Aab	$\hat{y} = 0,1x + 37,0$ R <sup>2</sup> = 0,95
FP2	48,4 Aa	50,0 Aa	54,3 Aa	53,7 Aa	55,2 Aab	$\hat{y} = 52,31$
FR	45,8 Ba	48,6 ABa	52,8 ABa	56,2 ABa	59,1 Aa	$\hat{y} = 0,1x + 45,7$ R <sup>2</sup> = 0,99
SFT	33,8 Ab	35,3 Ab	37,5 Ac	42,2 Ab	45,7 Ab	$\hat{y} = 0,1x + 32,8$ R <sup>2</sup> = 0,95
<b>Sem Calagem</b>						
FP1	13,7	15,1	25,9	25,3	35,1	$\hat{y} = 0,2x + 12,4$ R <sup>2</sup> = 0,90
FP2	16,0	15,5	23,4	27,2	32,0	$\hat{y} = 0,1x + 16,8$ R <sup>2</sup> = 0,95
FR	14,2	15,9	23,8	25,6	29,7	$\hat{y} = 0,1x + 13,7$ R <sup>2</sup> = 0,95
SFT	14,0	15,1	22,9	25,8	24,8	$\hat{y} = 0,1x + 14,0$ R <sup>2</sup> = 0,84

Médias ligadas por letras distintas (maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal) diferem pelo teste Tukey (p≤0,05).

**Tabela 3.** Produção de massa seca (em g vaso<sup>-1</sup>) de plantas de milho, em Latossolo Vermelho distrófico (LVd) em resposta a aplicação de doses (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg dm<sup>-3</sup>) de fertilizante solúvel sob efeito residual de resíduos fosfatados, fosfato reativo e superfosfato triplo com e sem efeito residual da calagem.

Tratamento	Doses de SFT (equivalente a P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> em mg dm <sup>-3</sup> )					Equação de Regressão
	0	30	60	90	120	
<b>Residual da calagem</b>						
FP1	32,9	34,1	36,9	37,4	39,6	$\hat{y} = 0,06x + 32,8$ R <sup>2</sup> = 0,97
FP2	39,2	39,0	41,7	40,2	39,8	$\hat{y} = 39,74$
FR	28,6	38,1	40,2	38,7	39,5	$\hat{y} = 39,97$
SFT	29,6	33,9	35,8	38,1	37,7	$\hat{y} = 0,07x + 31,0$ R <sup>2</sup> = 0,87
<b>Sem Calagem</b>						
FP1	11,8	12,0	13,8	13,8	16,6	$\hat{y} = 0,04x + 11,4$ R <sup>2</sup> = 0,87
FP2	13,3	16,1	17,3	18,4	20,4	$\hat{y} = 17,1$
FR	13,7	12,9	15,8	15,1	17,4	$\hat{y} = 0,03x + 13,0$ R <sup>2</sup> = 0,75
SFT	11,0	11,6	12,8	12,9	13,0	$\hat{y} = 0,02x + 11,3$ R <sup>2</sup> = 0,84

Médias ligadas por letras distintas (maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal) diferem pelo teste Tukey (p≤0,05).