

Comissão 3.2 - Manejo e conservação do solo e da água

TRITICALE, MILHETO E ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA FORMAÇÃO DE PALHADA EM SEMEADURA DIRETA⁽¹⁾

José Antonio de Fátima Esteves⁽²⁾ & Ciro Antonio Rosolem⁽³⁾

RESUMO

As fontes de P mais utilizadas são os fosfatos solúveis em água, pela maior facilidade de liberação de P no solo. Entretanto, devido às características dos solos tropicais, grande parte desse P acaba adsorvida às partículas do solo, tornando-se indisponível. Os fosfatos reativos podem, inicialmente, liberar o P de maneira mais lenta; entretanto, a partir dos cultivos, este elemento poderá ser liberado de forma contínua, podendo haver menor fixação. O objetivo deste trabalho foi estudar a resposta à aplicação de duas fontes de P na cultura do triticale e o efeito residual dessa adubação no milho, cultivados em semeadura direta, avaliando-se: fertilidade do solo; produção de matéria seca; teor e quantidade de P nas plantas e palha de cobertura; densidade de plantas; teor e quantidade de P nos grãos; e produtividade do triticale. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho distroférico. No mês de abril foram aplicados, a lanço, em superfície, três tratamentos: sem aplicação de P_2O_5 ; aplicação de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 de superfosfato triplo; e aplicação de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 de fosfato natural Arad. Em seguida, semeou-se o triticale (*X Triticosecale* Wittmack), que foi conduzido até a colheita. Em setembro, após a colheita do triticale, semeou-se o milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown), com o objetivo de elevar a cobertura de palha do solo, sendo ele dessecado no florescimento no mês de novembro. A aplicação de fosfato solúvel em superfície proporcionou lixiviação do P até a camada de 5–10 cm de profundidade do solo e melhor nutrição fosfatada do triticale cultivado em seguida, assim como maior produção de grãos. Apesar do aumento no teor de P disponível no solo, proporcionado pelo fosfato solúvel, a aplicação de P no triticale não redundou em elevação da produção de matéria seca, do teor e da quantidade de P na parte aérea do milho cultivado em sequência.

Termos de indexação: sistema de cultivo, plantas de cobertura de solo, fontes de fosfato.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós- Graduação da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, campus de Botucatu. Recebido para publicação em janeiro de 2010 e aprovado em março de 2011.

⁽²⁾ Pesquisador do Centro de Grãos e Fibras, IAC. Caixa Postal 28, CEP 13012-970 Campinas (SP). E-mail: jafesteves@iac.sp.gov.br

⁽³⁾ Professor Titular, Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). Pesquisador do CNPq. E-mail: rosolem@fca.unesp.br

SUMMARY: TRITICALE, PEARL MILLET AND PHOSPHATES FOR NO-TILL STRAW PRODUCTION

*Water soluble phosphates are the most often used phosphorus sources in fertilizers for ease of P release to the soil. However, in tropical soils, much of this P is adsorbed to soil particles and becomes unavailable to plants. Conversely, reactive phosphates may be slow initial releasers of the nutrient, but be released continually to the developing crops, reducing soil P fixation. The aim of this study was to investigate the application of two P sources to triticale and assess the residual effect of fertilization on pearl millet in no tillage. Soil fertility, dry matter and grain yields, phosphorus content and amount in plants and straw were determined. The experiment was conducted in an Oxisol. Three treatments were applied in April of the first year: 1) without application of P_2O_5 , 2) application of $80 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ as triple superphosphate and 3) application of $80 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ of reactive phosphate (Arad). Triticale (X Triticosecale Wittmack) was planted and grown until grain harvest. In September, after harvest of triticale, pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) was planted to increase the amount of straw on the soil surface. At flowering in November, pearl millet was desiccated. Soluble phosphate, which was applied to the soil surface, increased soil P contents down to the 5–10 cm soil layer, and triticale benefited from P fertilization with higher yields. Despite the increase in available phosphorus in the soil provided by soluble phosphate, P application to triticale did not increase dry matter production, P content and amount in the shoots of the pearl millet grown in sequence.*

Index terms: cropping system, cover crops, phosphate sources.

INTRODUÇÃO

De modo geral, os fosfatos solúveis em água são as fontes de P mais utilizadas nas adubações no Brasil. Quando incorporados ao solo, possuem grande capacidade de liberação de P para as plantas e, portanto, apresentam ampla eficiência agrônômica. No entanto, apesar das características citadas, essas fontes apresentam maior custo por unidade de nutriente, além do fato de que grande parte do P aplicado dessa forma passa a ser rapidamente adsorvida ao solo (Maças, 2000).

Como uma alternativa ao uso dos fosfatos solúveis, outras fontes minerais podem ser utilizadas nas adubações fosfatadas, como os fosfatos naturais. Entre os fosfatos naturais encontram-se os fosfatos naturais reativos, formados em ambientes sedimentares e apresentam elevado grau de substituições iônicas isomórficas, alterando a estrutura do cristal de apatita, o que resulta em minerais com microestrutura porosa e elevada área específica interna, podendo ser hidrolisados no solo (Fontoura et al., 2010). De acordo com Kaminski & Peruzzo (1997), essas fontes, por reagirem no solo mais lentamente, podem apresentar efeito residual compensatório, e o somatório da sua eficiência, quando estimada ao longo do tempo, pode se igualar ao dos fosfatos solúveis. Essas fontes, por serem fertilizantes de menor reatividade, minimizam os processos de fixação e podem aumentar a eficiência de utilização do nutriente pelas culturas (Novais & Smyth, 1999). No Brasil, esses fosfatos são comercializados como fonte alternativa, de custo mais baixo, e têm apresentado bons resultados quando comparados aos superfosfatos (Sousa et al., 2008).

Vários resultados de pesquisa comprovam que fosfatos naturais reativos, como os de Arad e de Gafsa, dentre outros, quando incorporados ao solo em doses equivalentes de P_2O_5 total, têm apresentado eficiência agrônômica semelhante à dos fosfatos solúveis em termos de fornecimento de P para culturas anuais, tanto em solos com teores iniciais médios de P (Choudhary et al., 1994; Motomiya et al., 2004) quanto naqueles com teores baixos (Braga et al., 1991; Fotyma et al., 1996; Rajan et al., 1996); segundo esses autores, a aplicação de fosfatos naturais reativos é uma alternativa viável já no primeiro ano da sua aplicação. Assim, essas fontes podem ser tão efetivas quanto os superfosfatos quando utilizadas em sistemas que tendem a proporcionar equilíbrio químico do solo, como a semeadura direta, podendo proporcionar teor de P adequado no solo para o suprimento das plantas.

Nos últimos anos, a adoção de sistemas de cultivo conservacionista, como a semeadura direta, tem se apresentado uma alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola do solo (Silveira et al., 2010). Na semeadura direta, diversos eventos físicos, químicos e biológicos acabam acontecendo no solo, o que resulta em disponibilidades de nutrientes diferenciadas em relação a outros sistemas de cultivo. A mudança no sistema de cultivo do preparo convencional para o sistema semeadura direta desencadeia uma série de alterações nas propriedades do solo, especialmente quanto à disponibilidade de nutrientes e estruturação (Pavinato & Rosolem, 2008). O sucesso do sistema está no fato de a palhada acumulada pelas culturas de cobertura e restos culturais de lavouras comerciais proporcionarem ambiente favorável à recuperação ou à manutenção da qualidade do solo (Silva et al., 2000).

Segundo Ramos et al. (2010), atualmente a adubação fosfatada em sistema semeadura direta é feita totalmente em superfície e com uso de fontes solúveis, assim como de fontes reativas, como o fosfato de Arad. A redistribuição de P em diversas formas quando da fertilização ocorre em solos cultivados nesse sistema, pois se observa a formação de uma camada de solo junto à superfície com alto teor de matéria orgânica e disponibilidade do nutriente (Rheinheimer et al., 2003).

Entre as inúmeras espécies de plantas que podem ser cultivadas em semeadura direta, o triticale e o milho apresentam-se como excelentes alternativas. O primeiro apresenta elevado potencial produtivo, certa tolerância à acidez do solo e boa capacidade de ciclagem de K, podendo ser utilizado como planta de cobertura (Rosolem et al., 2003). O milho é uma planta anual de clima tropical que, devido à boa resistência à seca, ampla adaptação e boa produção de massa, aliado a crescimento rápido, raízes vigorosas (Rosolem et al., 2002) e boa capacidade de ciclagem de nutrientes (Silva & Rosolem, 2003), tem sido utilizada em áreas de semeadura direta no Brasil, tanto na semeadura de outono-inverno quanto na de primavera (Teixeira et al., 2010). Apesar da rusticidade, ambas as culturas podem obter maior potencial produtivo recebendo uma adubação equilibrada, principalmente com relação ao P – elemento que apresenta acentuada deficiência nos solos brasileiros.

Este trabalho teve por objetivo estudar a resposta à aplicação de duas fontes de P no cultivo do triticale e o efeito residual dessa adubação na cultura do milho, em uma área que já vinha sendo cultivada por dois anos agrícolas no sistema de semeadura direta,

avaliando-se: fertilidade do solo; produção de matéria e quantidade de P nas plantas e palhada; teor e quantidade de P nos grãos; densidade de plantas; e produtividade do triticale.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano de 2001, na Fazenda Experimental Lageado da FCA/UNESP, em Botucatu, Estado de São Paulo, localizada na latitude de 22° 51' S e longitude de 48° 26' W, com altitude de 786 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, mesotérmico, com inverno seco. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico textura média (Embrapa, 1999). A área do experimento vinha sendo cultivada por dois anos agrícolas, 1999/2000 e 2000/2001, em semeadura direta, com soja rotacionada no inverno com aveia-preta e na primavera com milho. Os dados meteorológicos locais da média mensal das temperaturas mínimas e máximas e da precipitação pluvial durante a condução do experimento foram fornecidos pelo Departamento de Recursos Naturais da FCA/UNESP e estão apresentados na figura 1.

As características químicas do solo da área experimental são mostradas no quadro 1. O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Em abril de 2001, sete dias após a aplicação de 2,0 L ha⁻¹ do herbicida Glifosate (i.a. = 360 g L⁻¹), os tratamentos foram aplicados em parcelas de 240 m² (30 x 8 m), a lanço, em superfície, antes da semeadura do triticale (*X Triticosecale* Wittmack) cultivar EMBRAPA 53.

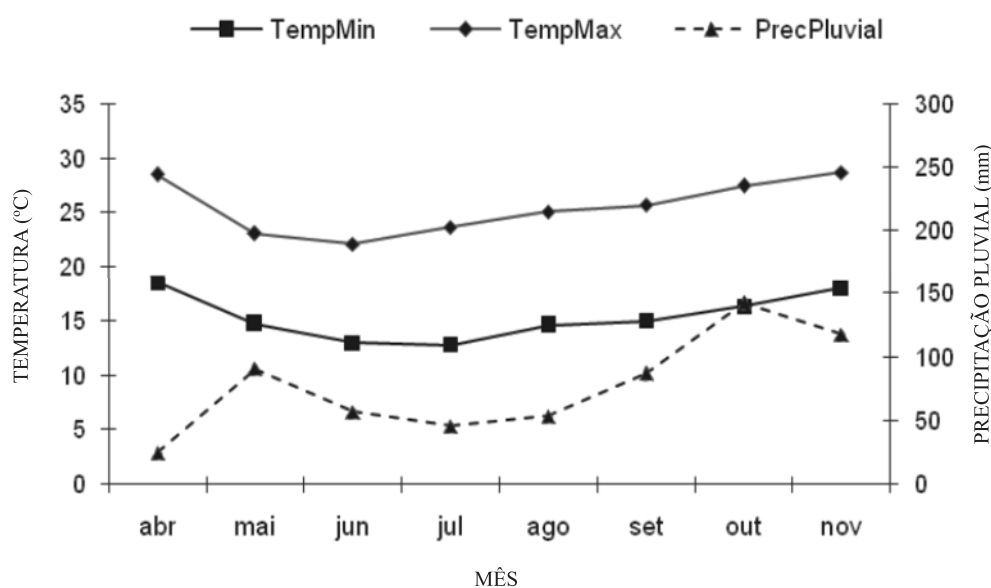


Figura 1. Médias das temperaturas mensais (mínimas e máximas) em °C e da precipitação pluvial mensal, referentes ao período de 4 a 11/2001, na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu-SP.

Quadro 1. Características químicas do solo da área experimental antes da instalação do experimento

Profundidade	pH CaCl ₂	MO	P _(resina)	H + Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V
cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³						%
0-5	5,2	21	18	27	2,7	21	13	37	64	58
5-10	5,1	18	16	28	0,7	17	11	29	57	51
10-20	4,6	19	5	34	0,6	8	6	14	48	29
20-40	4,0	18	3	45	0,7	5	3	9	54	16

Na semeadura do triticale utilizaram-se 150 kg ha⁻¹ de sementes, visando atingir densidade de 400 sementes por m². Os tratamentos constaram de: sem aplicação de P₂O₅; aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de fosfato solúvel granulado (superfosfato triplo), apresentando 41 % de P total (P₂O₅) em citrato neutro de amônio + água; e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de fosfato natural reativo farelado (fosfato natural Arad) com 6 % de P total (P₂O₅) em citrato neutro de amônio + água. Nas parcelas, além das fontes fosfatadas, foram aplicados gesso agrícola, KCl (granulado) e CaCl₂, visando ao suprimento de K e S para as plantas de triticale (Raij et al., 1996) e ao balanceamento do Ca entre os tratamentos com fontes de P.

No mês de setembro de 2001, foi realizada a colheita do triticale na área útil das parcelas de 196 m² (28 x 7 m), utilizando-se colhedora automatizada, sendo a colheita da bordadura efetuada com colhedora combinada. Posteriormente, foi realizada aplicação do herbicida Glifosate (i.a. = 360 g L⁻¹), com a utilização de 2,0 L ha⁻¹. Sete dias após a aplicação, foi feita a semeadura do milho, (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown), com semeadora de fluxo contínuo para semeadura direta, com espaçamento de 0,20 m, empregando-se 20 kg ha⁻¹ de sementes. No final de novembro de 2001, foi realizada a dessecação das plantas de milho com o herbicida Glifosate (i.a. = 360 g L⁻¹), utilizando-se 2,0 L ha⁻¹.

As avaliações no cultivo do triticale foram realizadas na colheita e constaram de: análise química de solo, produção de matéria seca de plantas e de palha de cobertura, teor e quantidade de P na planta, nos grãos e na palha de cobertura, densidade de plantas e produção. Com relação à análise química de solo, foram coletadas por tradagem, em cada parcela, seis amostras simples de solo em quatro profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas entrelinhas da área útil da parcela, constituindo assim uma amostra composta para cada uma das quatro profundidades. As amostras foram secas naturalmente ao ar, destorroadas e peneiradas, em malha de 2 mm, para realização da análise química de solo segundo Raij et al. (2001).

Para as análises da produção de matéria seca de plantas e de palha de cobertura, foram tomadas aleatoriamente seis amostras de 10 plantas (parte aérea), consecutivamente na linha de semeadura, e amostras de palha em seis pontos aleatórios por parcela. As amostras de palha de cobertura foram

coletadas utilizando-se um quadrado de madeira, vazado, com 0,25 m² (0,5 x 0,5 m). O material vegetal – após manipulação para coleta de dados e tomadas subamostras de 300 g para realização de análise química de P – foi restituído ao seu local de origem.

O material coletado foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 °C por 72 h, efetuando-se, posteriormente, a pesagem das amostras. Em seguida, as amostras do material vegetal foram moídas, passando por peneiras de 1 mm de malha, e acondicionadas em sacos de papel, armazenados em local apropriado, para a realização da análise química visando à determinação do teor e da quantidade de P. Após as coletas, foi efetuada a colheita do triticale com colhedora automatizada em quatro linhas da área útil das parcelas, determinando-se posteriormente o teor e a quantidade de P nos grãos e a produtividade com o teor de água nos grãos corrigido para 13 %. O efeito dos tratamentos aplicados sobre o triticale continuou a ser avaliado durante o cultivo do milho.

As avaliações no cultivo do milho constaram de: análise química de solo, produção de matéria seca de plantas e de palha de cobertura, teor e quantidade de P na planta e de palha de cobertura, sendo as coletas realizadas antes da dessecação. Com relação à análise química de solo, foram adotados os mesmos procedimentos utilizados para o triticale. Para as análises da produção de matéria seca de planta e palha de cobertura, foram tomadas seis amostras de plantas (parte aérea), consecutivamente, em 0,5 m da linha de semeadura, e da palha de cobertura, em seis pontos aleatórios por parcela. Os procedimentos quanto a coleta de palha de cobertura e manipulação das amostras e análises químicas foram realizados da mesma forma que os empregados nas avaliações do triticale. Todo o material vegetal coletado foi moído em moinho de aço tipo Wiley, com as análises químicas sendo realizadas de acordo com Malavolta et al. (1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste t, considerando-se uma Diferença Mínima Significativa (DMS) de 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na colheita do triticale, de modo geral, houve melhor condicionamento químico do solo (Quadro 2) em

comparação com os valores observados antes da instalação do experimento (Quadro 1). Com relação ao P, nas camadas de solo analisadas, houve elevação do teor de P no que se refere à análise de solo inicial, independentemente da fonte de fosfato utilizada. Nas camadas de 0–5 e 10–20 cm de profundidade, a aplicação dos fertilizantes fosfatados elevou o teor de P no solo, em comparação com a ausência de aplicação da adubação fosfatada. Vários trabalhos, como os de Cordeiro et al. (1979), Ferreira & Kaminski (1979), Wilson et al. (2000) e Resende et al. (2006), demonstraram a eficiência relativa entre as fontes de fosfato natural reativo e fosfatos solúveis. O aumento da concentração de P nas camadas mais superficiais do solo nesse sistema está relacionado diretamente com a adubação fosfatada, o acúmulo de matéria orgânica e o aumento da atividade microbiana nas camadas superficiais, proporcionados pelo menor contato dos resíduos vegetais com o solo e pela maior umidade. Além disso, ocorre aumento considerável do teor de P disponível na camada mais superficial do solo ao longo do tempo de adoção da semeadura direta, o qual está diretamente relacionado com a redução da adsorção do P no solo e com o aumento da atividade microbiana e ciclagem do P orgânico (De Maria et al., 1999).

Na semeadura direta, o contínuo acúmulo de resíduos das culturas, de adubos e de corretivos na superfície e o não revolvimento do solo determinam gradientes no sentido vertical e maior variabilidade no sentido horizontal do solo. Quanto à elevação do teor de P na camada de 10–20 cm, ela deve estar relacionada à liberação de ácidos orgânicos dos resíduos vegetais e às suas ações na liberação de formas orgânicas de P, mais estáveis, às reações de adsorção, que podem permitir a movimentação vertical do nutriente. A maioria dos solos tem potencial de adsorver ácidos orgânicos com grande energia, ocupando os sítios de adsorção de fosfato, aumentando, dessa forma, a disponibilidade de P para as plantas (Andrade et al., 2003). Em trabalho de Corrêa et al. (2004), o incremento das doses de P aplicadas em superfície aumentou os teores de P disponível no solo até a profundidade de 30 cm com as palhadas das três espécies de cobertura e, na camada de 30–45 cm, apenas com o milho, proporcionando assim distribuição mais uniforme de P.

Embora não tenha sido realizada a correção da acidez do solo pela calagem, ocorreu elevação do pH e da soma de bases (SB) e diminuição dos valores de $H + Al$, provavelmente em razão do melhor

Quadro 2. Análise química de solo, para quatro profundidades, referente à coleta realizada na colheita do triticale, em função da aplicação de fontes de fósforo

Tratamento	Profundidade										
	pH $CaCl_2$	MO	P _(resina)	H + Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V	
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol. dm ⁻³						%	
				0–5 cm							
Sem P	6,2	22	24 b	18	1,8	38	12	51	69	74	
P-Natural	6,1	26	39 ab	18	2,2	34	9	46	64	71	
P-Solúvel	6,1	18	42 a	23	1,8	32	12	46	69	67	
Valor de F	0,10 ns	1,09 ns	4,53 *	1,28 ns	1,00 ns	0,33 ns	1,61 ns	0,24 ns	0,25 ns	0,78 ns	
CV (%)	3,85	32,06	25,62	30,39	25,17	30,82	23,23	25,98	20,03	11,26	
				5–10 cm							
Sem P	5,4	21	13	24	1,4	18	9	28	52	53	
P-Natural	5,3	25	18	26	1,3	18	8	27	53	51	
P-Solúvel	5,5	20	21	28	1,2	22	10	33	60	55	
Valor de F	0,16 ns	0,37 ns	1,40 ns	0,46 ns	0,55 ns	0,19 ns	0,30 ns	0,20 ns	0,51 ns	0,05 ns	
CV (%)	6,69	37,63	39,17	19,35	24,74	50,85	34,45	41,31	21,20	24,97	
				10–20 cm							
Sem P	5,3 b	20	5 b	26	1,0	18	9	28	54	52	
P-Natural	5,4 ab	21	11 a	24	1,0	17	8	26	50	52	
P-Solúvel	5,5 a	16	12 a	25	0,8	18	8	27	52	52	
Valor de F	3,00 *	0,52 ns	0,45 *	0,19 ns	1,23 ns	0,11 ns	0,22 ns	0,14 ns	0,45 ns	0,00 ns	
CV (%)	2,64	38,71	27,63	13,61	22,49	15,29	33,58	18,98	9,78	12,91	
				20–40							
Sem P	4,4	18	4	39	0,7	6	4	11	50	22	
P-Natural	4,3	18	5	43	0,5	6	4	10	53	18	
P-Solúvel	4,5	23	5	43	0,5	9	5	14	57	24	
Valor de F	1,12 ns	0,35 ns	1,97 ns	0,25 ns	0,35 ns	0,51 ns	0,79 ns	0,59 ns	0,48 ns	0,83 ns	
CV (%)	3,49	44,45	26,50	20,59	67,41	65,79	19,08	42,99	18,11	42,53	

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t, com DMS a 5%. * e ** significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente; ns: não significativo.

condicionamento químico e, sobretudo, da possível ação de cobertura vegetal do solo.

Na camada de 10–20 cm, a aplicação de fosfato solúvel promoveu elevação do pH em relação à ausência de adubação fosfatada. Diversos autores já relataram a ação dos resíduos vegetais deixados sobre o solo no que se refere à diminuição da acidez e redução do efeito do Al no solo. Miyazawa et al. (1993) observaram que o material vegetal incorporado ao solo causou aumento no pH, e Franchini et al. (1999) constataram, após a aplicação de resíduos vegetais, além do aumento do pH, aumento nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , bem como redução do Al^{3+} . Em estudo de Amaral et al. (2004), os resíduos vegetais não tiveram efeito na correção da acidez do solo em profundidade; seus efeitos restringiram-se à camada de 0–2,5 cm. O efeito no pH do solo tem sido atribuído à adsorção de íons H e Al na superfície do material vegetal (Hoyt & Turner, 1975), à troca de ânions entre o OH-terminal de óxidos de Fe e Al e os ânions orgânicos (Hue & Amien, 1989) e ao aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos (Helyar, 1991). A complexação do Al por substâncias húmicas da matéria orgânica parece ser a reação mais importante do ponto de vista da redução da fitotoxidez, uma vez

que essa reação tende a ser mais duradoura do que o efeito no pH do solo (Salet, 1998).

Apesar de a quantidade de resíduos produzidos não ter alcançado valores elevados, inclusive pela não aplicação de N com relação ao cultivo das culturas, deve ser ressaltado que a faixa dos teores de matéria orgânica para o tipo de solo utilizado, entre 16 e 30 g dm^{-3} (Raij et al., 1996), após o cultivo do triticale, estava acima dos níveis médios considerados ideais para esse tipo de solo. No período de cultivo do triticale, a precipitação pluvial (Figura 1) apresentou distribuição média regular durante os meses, com acúmulo de 360 mm durante o período, o que pode ter influenciado diretamente no transporte em profundidade dos resíduos orgânicos. Além disso, a área experimental já vinha sendo cultivada em semeadura direta antes da instalação do experimento por dois anos agrícolas.

Na análise de solo realizada antes da dessecação do milho (Quadro 3), observou-se que, para teor de MO na camada de 5–10 cm, na ausência de adubação fosfatada ocorreu maior teor de MO, comparada à aplicação de fosfato solúvel; a adubação com fosfato natural reativo não diferiu em relação aos dois tratamentos citados. Esse resultado mostra que, apesar de as parcelas que receberam fosfato solúvel

Quadro 3. Análise química de solo, para quatro profundidades, referente à coleta realizada antes da dessecação do milho, em função da aplicação de fontes de fósforo

Tratamento	Profundidade										
	pH	CaCl ₂	MO	P _(resina)	H + Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V
			g dm^{-3}	mg dm^{-3}	mmol _c dm^{-3}						%
	0–5 cm										
Sem P	6,2		25	30	16	1,4	29	11	42	58	72
P-Natural	6,1		26	37	16	1,4	38	13	52	68	76
P-Solúvel	5,8		28	48	18	1,7	33	14	48	66	72
Valor de F	2,08 ns		0,08 ns	1,60 ns	2,40 ns	0,26 ns	0,47 ns	0,83 ns	0,54 ns	0,57 ns	0,48 ns
CV (%)	3,82		33,18	36,67	8,51	35,11	38,11	23,56	30,98	22,15	8,71
	5–10 cm										
Sem P	5,5		20 a	9	21	1,5	16	8	26	47	55
P-Natural	5,2		17 ab	12	25	1,2	14	8	23	48	48
P-Solúvel	5,4		15 b	17	23	1,4	14	8	24	47	51
Valor de F	2,33 ns		4,83 *	1,16 ns	0,90 ns	0,91 ns	0,42 ns	0,22 ns	0,46 ns	0,35 ns	0,7 ns
CV (%)	3,21		13,83	57,97	17,26	24,90	21,29	19,68	18,67	5,79	16,42
	10–20 cm										
Sem P	5,2		17	7 b	28	1,0	13	7	21	49	43
P-Natural	5,1		17	7 b	28	0,8	11	6	18	46	39
P-Solúvel	5,3		16	10 a	25	1,0	12	8	21	46	46
Valor de F	0,53 ns		0,18 ns	3,99 *	0,79 ns	0,95 ns	0,45 ns	0,61 ns	0,48 ns	0,65 ns	0,70 ns
CV (%)	6,17		12,08	23,24	12,87	24,11	28,97	35,14	30,84	11,23	21,90
	20–40 cm										
Sem P	4,3		15	2	42 a	0,4	7	4	11	53	20
P-Natural	4,4		12	2	41 ab	0,5	6	4	10	51	20
P-Solúvel	4,5		12	3	38 b	0,4	6	5	11	49	23
Valor de F	1,96 ns		4,56 ns	1,46 ns	4,26 *	1,00 ns	0,11 ns	1,00 ns	0,14 ns	2,89 ns	0,68 ns
CV (%)	3,29		10,75	48,57	5,15	18,23	23,08	17,63	18,53	4,31	15,77

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t, com DMS a 5%. * e ** significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente; ns: não significativo.

proporcionarem maior produção de matéria seca ao longo do cultivo do triticale e do milho (Quadro 4), esse fato não implicou aumento do teor de matéria orgânica em relação à utilização do fosfato natural e ausência da adubação fosfatada, uma vez que essa maior produção de matéria seca não resultou em diferenças na quantidade de palha de cobertura. De acordo com De Maria & Castro (1993), as alterações na quantidade de nutrientes e de matéria orgânica no solo podem depender da combinação entre sistemas de preparo do solo e as culturas.

Na camada de 10–20 cm houve diferença significativa no teor de P no solo, de modo que a aplicação de fosfato solúvel proporcionou teor mais elevado comparada à de fosfato natural reativo ou à ausência de adubação fosfatada. O fosfato solúvel, ao contrário da análise de solo anterior (Quadro 2), apresentou maior teor de P em relação ao fosfato reativo – fato esse que, pelas características dessas fontes, não seria o esperado. Apesar da menor solubilidade, ao longo dos cultivos, é esperada maior solubilização dos fosfatos reativos. De acordo com Novais et al. (2007), os fosfatos naturais são reconhecidos pela sua baixa eficiência agrônômica relativa em curto prazo, devido à sua baixa solubilidade, o que pode ser compensado pelo baixo custo do material aplicado. Entretanto, os fosfatos naturais reativos, como o de Gafsa, têm se mostrado eficientes no suprimento de P para culturas de ciclo curto, principalmente se associados a outras técnicas de manejo que favoreçam a solubilização.

Quanto à camada de 20–40 cm, houve diferença significativa para H + Al, com teor mais elevado quando da ausência de adubação fosfatada, em relação à aplicação de fosfato solúvel, não diferindo, porém, do fosfato natural reativo. A melhor atuação de formas

orgânicas do fosfato solúvel pode ter propiciado o menor teor de H + Al para essa camada de solo.

No quadro 4 são apresentados os valores obtidos na avaliação de matéria seca, teor e quantidade de P nas plantas de triticale e milho e na palha de cobertura, respectivamente. No tocante à variável de matéria seca (MS) de plantas e palha de cobertura, não foram observadas diferenças significativas. Para teor de P nas plantas de triticale, a aplicação de fontes de fosfato resultou em maior teor de P, comparada à ausência da adubação fosfatada. Esse resultado pode ser explicado pela elevação dos teores de P no solo quando da aplicação das fontes de fosfato. Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), a decomposição dos resíduos vegetais na superfície do solo libera ácidos orgânicos de forma contínua, os quais atuam na disponibilização de nutrientes para as culturas, na CTC e na complexação de elementos tóxicos e micronutrientes.

A aplicação de fosfato solúvel proporcionou maior quantidade de P nas plantas de triticale, comparada à ausência de aplicação de fosfato. Mesmo sem diferenças significativas para MS, os valores obtidos mostraram-se superiores nas parcelas que receberam aplicação de adubação fosfatada, assim como os teores de P foram maiores nessa situação, resultando, portanto, na maior quantidade de P nas plantas de triticale. Quanto à palha de cobertura, a quantidade de P acumulada foi mais elevada quando se aplicou adubação fosfatada, comparada à ausência de fosfatos; esse fato já era esperado, pois as parcelas que receberam adubação apresentaram maior teor do nutriente no solo, embora a produção de MS de palha não tenha diferido significativamente.

Quadro 4. Matéria seca (MS), teor e quantidade de P nas plantas de triticale e milho e nas respectivas palhas de cobertura, em coletas realizadas na colheita do triticale, em função da aplicação de fontes de fósforo

Tratamento	Planta			Palha		
	MS	Teor P	Quantidade P	MS	Teor P	Quantidade P
	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
	Triticale					
Sem P	3,6	0,87 b	3,20 b	2,0	1,26	2,53 b
P-Natural	3,8	0,94 a	3,58 ab	2,2	1,24	2,74 ab
P-Solúvel	4,1	0,95 a	3,90 a	2,4	1,27	3,08 a
Valor de F	1,72 ns	7,15 *	3,59 *	1,00 ns	0,31 ns	3,32 *
CV (%)	8,45	3,44	10,41	13,86	4,57	10,94
	Milheto					
Sem P	2,5	2,05 b	5,12	3,0	0,45 b	1,35 b
P-Natural	2,5	2,13 b	5,32	3,3	0,48 ab	1,55 ab
P Solúvel	2,6	2,43 a	6,33	3,5	0,61 a	2,14 a
Valor de F	0,56 ns	5,78 *	3,25 ns	1,54 ns	4,17 *	5,45 *
CV (%)	7,18	7,58	13,21	14,40	15,37	20,72

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t, com DMS a 5 %. * e ** significativo a 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente; ns: não significativo.

Com relação ao milho, observa-se que os resultados para MS de planta e palha foram semelhantes aos obtidos para o triticale, não havendo diferenças significativas. Para teor de P nas plantas, a aplicação de fosfato solúvel proporcionou teor de P mais elevado nas plantas de milho, comparada à ausência de aplicação ou aplicação de fosfato natural. Esse resultado foi similar ao apresentado para as plantas de triticale, podendo ser justificado da mesma forma. Quanto à palha de cobertura, a aplicação de fosfato solúvel proporcionou maior teor de P na palha de cobertura comparada à ausência de aplicação de fosfato, não diferindo da aplicação de fosfato natural. Deve ser ressaltado que a palha em questão foi formada quando dos cultivos anteriores, principalmente com os resíduos deixados na superfície do solo pelo triticale, o qual apresentou teor e quantidade acumulada de P mais elevados nas parcelas que receberam adubação com fosfato solúvel. Para quantidade de P na palha de cobertura, a aplicação de fosfato solúvel proporcionou maior acúmulo desse nutriente, comparada à ausência de aplicação de fosfato, não diferindo, porém, da aplicação de fosfato natural. Esse resultado refletiu o melhor comportamento do fosfato solúvel quanto ao teor de P no solo. Os resultados mostram a importância da adubação fosfatada para as culturas, de modo geral, e a eficiente participação do fosfato solúvel como fonte.

No quadro 5 são apresentados os valores obtidos na avaliação de teor e quantidade acumulada de P nos grãos, densidade de plantas e produtividade de triticale. Em todas as variáveis houve diferenças significativas, com exceção da densidade de plantas.

A aplicação de fosfato solúvel proporcionou maior teor de P nos grãos de triticale. As plantas dessa cultura absorveram mais o P das parcelas que se apresentaram com maior teor desse nutriente no solo, determinado pela adubação com fosfato solúvel. Também, a quantidade de P acumulada nos grãos foi maior comparada à aplicação de fosfato natural e ausência de fosfato, o que foi atribuído ao maior teor de P nos grãos e à mais elevada produção do triticale, quando da aplicação do fosfato solúvel.

A adubação com fosfato solúvel proporcionou maior produção de grãos de triticale, em relação à ausência de aplicação de fosfato e aplicação de fosfato natural. Dessa forma, a adubação com fosfato solúvel, em superfície, levou à melhor nutrição fosfatada do triticale e à maior produção de grãos.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de fosfato solúvel em superfície proporcionou lixiviação do P até a camada de 5–10 cm e melhor nutrição fosfatada do triticale cultivado em seguida, assim como maior produção de grãos.

2. Apesar do aumento no teor de P disponível no solo proporcionado pelo fosfato solúvel, a aplicação das fontes de P na cultura anterior não redundou em elevação da produção da matéria seca, do teor e da quantidade de P na parte aérea do milho cultivado em sequência.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida ao primeiro autor; à FINEP, CNPq e FAPESP, pelo financiamento da pesquisa.

LITERATURA CITADA

- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. R. Bras. Ci. Solo, 28:115-123, 2004.
- ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. R. Bras. Ci. Solo, 27:1003-1011, 2003.

Quadro 5. Teor e quantidade de P nos grãos, densidade de plantas e produtividade de triticale das coletas realizadas na colheita do triticale, em função da aplicação de fontes de fósforo

Tratamento	Grãos		Densidade de Plantas	Produtividade
	Teor P	Quantidade P		
	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	Plantas m ²	kg ha ⁻¹
Sem P	2,97 b	6,07 b	247	2.044 b
P-Natural	3,04 ab	6,26 b	249	2.060
P-Solúvel	3,36 a	8,21 a	257	2.436 a
Valor de F	4,83 ns	10,80 *	0,42 ns	16,58 **
CV (%)	6,13	10,59	6,02	5,01

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t, com DMS a 5%. * e ** significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente; ns: não significativo.

- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.
- BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A.; RAIJ, B.van; FEITOSA, C.T. & HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. R. Bras. Ci. Solo, 15:315-319, 1991.
- CHOUDHARY, M.; PECK, T.R.; PAUL, L.E. & BAILEY, L.D. Long-term comparison of rock phosphate with superphosphate on crop yield in two cereal-legume rotations. Can. J. Plant Sci., 74:303-310, 1994.
- CORDEIRO, D.S.; POTTKER, D.; BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; MESQUITA, A.N.; DITTRICH, R.C. & PALHANO, J.B. Efeito de níveis e fontes de fósforo na produção e no rendimento econômico de soja na região de Dourados, MS. R. Bras. Ci. Solo, 3:100-105, 1979.
- CORRÊA, J.C.; MAUAD, M. & ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. Pesq. Agropec. Bras., 39:1231-1237, 2004.
- DE MARIA, I.C. & CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. R. Bras.Ci. Solo, 17:471-77, 1993.
- DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C. & CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. Soil Tillage Res., 51:69-77, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FERREIRA, T.N. & KAMINSKI, J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais de Patos-de-Minas e Gafsa puros e modificados por acidulação e calcinação. R. Bras. Ci. Solo, 3:158-162, 1979.
- FONTOURA, S.M.V.; VIEIRA, R.C.B.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. & MORAES, R.P. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em Latossolo sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 34:1907-1914, 2010.
- FOTYMA, M.; HAMMOND, L. & KESIK, K. Suitability of North Carolina natural phosphate to Polish agriculture. Fert. Res., 43:83-86, 1996.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. R. Bras. Ci. Solo, 23:533-542, 1999.
- HEYLAR, K.R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C. & MURNAN, R.P. Plant-soil interactions at low pH. Dordrecht, 1991. p.365-82.
- HOYT, P.B. & TURNER, R.C. Effect of organic materials added to very acid soils on pH, Al³⁺, exchangeable NH₄ and crop yields. Soil Sci., 119:227-37, 1975.
- HUE, N.V. & AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 20:1499-511, 1989.
- KAMINSKI, J. & PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria, NRS/SBCS, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3)
- MAÇÃS, J.E.S. Manejo de fosfatos naturais reativos na cultura de soja. In: CÂMARA, G.M.S., coord. Soja: Tecnologia da produção II. Piracicaba, USP, 2000. p.341-382.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. R. Bras. Ci. Solo, 17:411-416, 1993.
- MOTOMIYA, W.R.; FABRÍCIO, A.C.; MARCHETTI, M.E.; GONÇALVES, M.C.; ROBAINA, A.D. & NOVELINO, J.O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 39:307-312, 2004.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.
- PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. R. Bras. Ci. Solo, 32:911-920, 2008.
- RAIJ, B.van, ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 284p.
- RAIJ, B.van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELINAZZI JUNIOR, R.; DECHEN, A.R. & TRANI, P.E. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 107p. (Boletim Técnico, 100)
- RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H. & SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct applications to soils. Adv. Agron., 57:77-159, 1996.
- RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C.R.; SILVA, C.A.; ÁVILA, F.W. & SAMPAIO, R.A. Utilização de fósforo e produção do feijoeiro: Influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 34:89-96, 2010.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, D.I.; SANTOS, J.Z.L. & CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 30:453-466, 2006.
- RHEINHEIMER, D.S.; CONTE E. & ANGHINONI, I. Formas de acumulação de fósforo pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 27:893-900, 2003.

- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:355-362, 2003.
- ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S. & TIRITAN, C.S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. *Soil Tillage Res.*, 65:109-115. 2002.
- SALET, R.L. Toxidez de alumínio no sistema plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 109p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho sob plantio direto, afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199, 2000.
- SILVA, R.H. & ROSOLEM, C.A. Early development and nutrition of cover crop species as affected by soil compaction. *J. Plant Nutr.*, 26:1635-1648, 2003.
- SILVEIRA, P.M.; CUNHA, P.C.R.; STONE, L.F. & SANTOS, G.G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. *Pesq. Agropec. Trop.*, 40:283-290, 2010.
- SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A. & LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília, DF. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais: Anais... Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. CD-ROM.
- TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; SILVA, C.A.; ANDRADE, M.J.B. & PEREIRA, J.P. Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:497-505, 2010.
- WILSON, V.S.; LOBATO, E.; SOUSA, D.M.G. & REIN, T.A. Avaliação do fosfato natural de Gafsa para recuperação de pastagem degradada em Latossolo Vermelho-Escuro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:819-825, 2000.