



## Atributos químicos do solo e produtividade do milho afetados por corretivos e manejo do solo<sup>1</sup>

José R. Santos<sup>2</sup>, Silvio J. Bicudo<sup>3</sup>, João Nakagawa<sup>3</sup>, Abel W. de Albuquerque<sup>2</sup> & Celso L. Cardoso<sup>3</sup>

### RESUMO

Este trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Universidade Estadual Paulista–UNESP, Campus de Botucatu, SP, em um Nitossolo distrófico, na safra de 1997/98. Avaliaram-se os efeitos da aplicação de termofosfato magnésiano; termofosfato + calcário e termofosfato + gesso + vinhaça, nas propriedades químicas do solo e na produtividade do milho (*Zea mays* L.) cultivar XL-345 da Braskalb, cultivado nos sistemas plantio direto e preparo convencional. Foi utilizada a *Crotalaria juncea* como planta de cobertura sobre a qual foram estabelecidos os sistemas de preparo. As principais alterações na fertilidade do solo ocorreram devido à adubação corretiva com o termofosfato magnésiano. As produtividades da cultura do milho apresentaram diferenças significativas em relação aos sistemas de cultivo e estiveram associadas ao menor teor de N encontrado nas folhas do milho cultivado no sistema de plantio direto.

**Palavras-chave:** plantio direto, preparo convencional, calagem, vinhaça, termofosfato magnésiano

## Chemical properties of soil and productivity of corn affected by amendments and soil management

### ABSTRACT

A field experiment was carried out in the Lageado Experimental Farm belonging to the São Paulo State University – UNESP, Campus of Botucatu, SP, in a dystrophic Nitosoil in 1997/98. The objective was to compare the effects of magnesium termophosphate; termophosphate + lime; termophosphate + phosphogypsum + sugarcane vinnace application on the chemical characteristics of the soil and on the corn (*Zea mays* L.) yield cultivated in no-tillage and conventional tillage systems. The *Crotalaria juncea* was cultivated as mulch-producing to make possible the establishment of the tillage systems. The mean modifications in the soil fertility were due to application of the magnesium termophosphate. The differences between the two tillage systems, related to crop productivity, were associated to the smaller N content in the corn leaf in the no-tillage system.

**Key words:** no-tillage, conventional tillage, liming, sugarcane vinnace, magnesium termophosphate

<sup>1</sup> Parte de trabalho de Tese de Doutorado do primeiro autor apresentado à UNESP

<sup>2</sup> Departamento de Solos, Engenharia e Economia Rural – CECA/UFAL. Campus Delza Gitaí, Br 104 Norte, km 85, CEP 57.100-000, Rio Largo, AL Fone: (82) 3261-1776. E-mail: santosjr2002@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Departamento de Produção Vegetal/UNESP. CP 32, CEP 18.610-680, Fazenda Lageado, Botucatu, SP. Fone: (14) 821-3883. E-mail: sjbicudo@fca.unesp.br

## INTRODUÇÃO

Por desempenhar papel significativo na produção nacional de grãos, o milho se destaca como influenciador direto na economia brasileira. No Estado de São Paulo, a produtividade média, em torno de 3000 kg ha<sup>-1</sup> (Agrianual, 2000), está distante do potencial da cultura.

A freqüente limitação da produtividade do milho está relacionada, em parte, à baixa disponibilidade de cálcio e de fósforo, na maior parte dos solos brasileiros (Coutinho et al., 1991), condições em que as práticas da calagem e da adubação fosfatada são fundamentais para melhorar o desenvolvimento e a produção da cultura.

A correção da acidez do solo e a elevação do nível de fertilidade são alguns dos requisitos básicos para a instalação do sistema de plantio direto (Muzilli, 1985; Santos et al., 1995). De acordo com Souza & Ritchey (1986), as raízes da maioria das plantas cultivadas não se desenvolvem adequadamente em solos ácidos, mesmo naqueles com baixa saturação em alumínio.

O termofosfato, tendo em vista apresentar reação alcalina e acrescentar fosfato tricálcico, silicatos de cálcio e de magnésio, é uma alternativa para melhorar a disponibilidade de nutrientes, ao mesmo tempo em que eleva o pH do solo, aumentando a eficiência de utilização dos mesmos pelas plantas (Büll, 1993; Souza & Yasuda, 1995).

O gesso agrícola e a vinhaça, por sua vez, são dois resíduos agroindustriais produzidos em grandes quantidades no Brasil e por apresentarem elementos essenciais às plantas em suas composições, podem ser utilizados como fertilizantes na agricultura, o que, de fato, já vem ocorrendo, principalmente na cultura da cana-de-açúcar, onde a vinhaça é utilizada na fertirrigação em áreas que receberam aplicações de gesso.

Em solos ácidos, o gesso pode ser utilizado como fonte de cálcio e enxofre para as plantas e como corretivo para subsolos deficientes em cálcio, em virtude da lixiviação do sulfato aplicado na superfície (Pavan & Volkweiss, 1986).

A vinhaça, quando adicionada ao solo, contribui para o aumento do pH (Glória & Orlando Filho, 1983) e aumento na disponibilidade de fósforo. De acordo com Matiazzo & Glória (1980), o pH tende a diminuir nos primeiros dez dias após sua adição para, depois, se elevar bruscamente podendo, então, dependendo do volume de vinhaça aplicada, atingir valores superiores a 7, como constataram também Glória & Magro (1976) e Stupiello et al. (1977). O aumento na disponibilidade de P decorrente da adição de vinhaça ao solo, pode ocorrer pela ação direta dos componentes da matéria orgânica atuando como agentes complexantes e, indiretamente, pelo aumento do pH e da atividade microbiana (Glória & Orlando Filho, 1983).

Há na literatura ampla publicação de artigos científicos sobre os efeitos benéficos do gesso e da vinhaça; entretanto, existem poucas informações sobre suas reações no solo e na produção agrícola, quando aplicados simultaneamente.

Pretendeu-se, com este trabalho, avaliar os efeitos da

aplicação de calcário e gesso + vinhaça nas modificações dos atributos químicos de um solo previamente corrigido com termofosfato magnésiano sobre a produtividade do milho, cultivado no sistema plantio direto e no preparo convencional.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Botucatu, SP, em um Nitossolo Distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 1999), cujas características químicas se encontram na Tabela 1. As coordenadas geográficas são: latitude Sul 22° 49' 31" e longitude Oeste 48° 25' 37". A altitude do local do experimento é de 765 m acima do nível do mar, com 3% de declividade. O clima da região é, pela classificação de Koppen, do tipo Cfa, ou seja, subtropical, com verões quentes e úmidos e com invernos frios e secos.

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo em quatro profundidades de amostragem realizada antes da instalação do experimento

Profundidade cm	pH	MO	P*	H+Al	K	Ca	Mg	T	V
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
0-5	4,8	34	9,4	45	2,5	17	14	79	44
5-10	4,5	30	8,8	55	1,2	16	11	83	35
10-20	4,2	23	5,3	57	0,9	12	06	76	25
20-40	4,2	19	3,5	69	0,8	07	04	81	14

\* Método da resina

Utilizaram-se seis tratamentos resultantes da combinação de três corretivos (Termofosfato + Calcário; Termofosfato + Gesso + Vinhaça e Termofosfato apenas) e dois sistemas de cultivo (Plantio Direto e Preparo Convencional). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, tendo cada parcela uma área de 200 m<sup>2</sup> (10 x 20 m), e cada subparcela 100 m<sup>2</sup> (5 x 20 m).

A área experimental encontrava-se em pousio há dois anos e sua última cultura foi o milho. Em agosto de 1997, a vegetação espontânea foi triturada por um triturador de palha (Triton) e, posteriormente, incorporada ao solo com arado de discos; após esta operação toda a área experimental recebeu 4.000 kg ha<sup>-1</sup> de termofosfato magnésiano, contendo: 17,5% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, 16% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico, 14,5% de MgO e 28% de CaO. A dose do termofosfato foi definida em função de incubação prévia do solo com o referido corretivo, visando-se elevar o nível de P para 80 mg kg<sup>-1</sup>.

Na parcela referente ao tratamento termofosfato + calcário, foram aplicados 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com 31% de CaO e 18% de MgO. A dose de calcário foi definida com o objetivo de se elevar a saturação por bases para 60%, de acordo com a análise do solo coletado na camada 0-20 cm (V% = 35 e T = 79 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), sendo a metade incorporada antes da aração e o restante antes da gradagem.

Na parcela referente ao tratamento termofosfato + gesso + vinhaça, foram aplicados, sem incorporação, 3.240 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, com 28% de CaO e 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça. A dose de gesso foi calculada em função do teor de argila do solo, de acordo com a recomendação de van Raij et al. (1996). A dose de vinhaça seguiu a recomendação proposta por Zambello Jr. & Orlando Filho (1981), sendo a aplicação realizada através de regadores, imediatamente após a aplicação do gesso sem incorporação. A vinhaça aplicada apresentou a seguinte composição química: C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O igual a 5,5; 0,29; 0,15 e 1,52 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente; por outro lado, a parcela referente ao termofosfato magnesiano, recebeu 4.000 kg ha<sup>-1</sup> do referido corretivo.

Após a aplicação dos corretivos a área experimental foi cultivada com a *Crotalaria juncea* e semeada em 24.10.97, com o objetivo de se produzir massa vegetal, de prover o solo com N da fixação biológica e dar condições para a implantação dos sistemas de cultivo, sobretudo o plantio direto. Quando a leguminosa se encontrava no estágio de florescimento, fez-se o manejo com um triturador de palha, mantendo-a na superfície do solo.

Após o manejo da crotalária, foram estabelecidos os dois sistemas de cultivo: a) Plantio Direto, sendo os resíduos da crotalária mantidos na superfície do solo, e b) Preparo Convencional, em que os resíduos de crotalária foram incorporados ao solo por meio de uma aração e duas gradagens. Após esta etapa, procedeu-se a semeadura (26.01.1998), colocando-se 5 sementes por metro linear da cultivar XL-345 da Braskalb, no espaçamento de 0,90 m, com poder germinativo de 88% e pureza de 98%. A adubação nitrogenada foi dispensada devido à baixa resposta esperada, visto que a semeadura foi realizada após o cultivo de leguminosa e na época em que há maiores riscos em virtude da menor disponibilidade de água.

O controle das plantas invasoras e o controle da lagarta do cartucho foram realizados 30 dias após a semeadura com a aplicação de 5 L ha<sup>-1</sup> do herbicida atrazine + simazine e 0,9 L ha<sup>-1</sup> do inseticida Deltamethrin. A colheita do milho foi realizada em 22.06.1998.

As amostragens de solo para análises químicas de fertilidade foram realizadas em duas ocasiões, sendo a primeira antes da instalação do experimento e a outra imediatamente após a colheita da cultura. Coletaram-se 5 amostras simples para transformação de uma amostra composta em quatro profundidades no perfil do solo (0-0,5; 0,5-10; 10-20 e 20-40 cm), afastadas 20 cm da linha de semeadura, na direção das entrelinhas. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia de análise de solo descrita por van Raij & Quaggio (1983). A amostragem do material vegetal foi realizada no estágio do pleno florescimento e coletada a folha abaixo e oposta à espiga de 10 plantas por parcela. O conteúdo de macronutrientes do material vegetal foi determinado segundo Malavolta et al. (1997). Para se avaliar a produtividade de grãos de milho, foram colhidas as espigas de três fileiras centrais de 10 m, perfazendo uma área de 27 m<sup>2</sup>.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5 e a 1% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Fertilidade do solo

Pelos valores médios dos atributos químicos do solo após a colheita do milho (Tabela 2), não se constatou significância estatística pelo teste de F para a interação entre os fatores corretivos e os sistemas de cultivo. Não se verificaram diferenças estatísticas significativas para pH, entre os sistemas de cultivo, em todas as profundidades estudadas. Dentre os corretivos, a aplicação conjunta de termofosfato + gesso + vinhaça apresentou valor superior aos demais tratamentos, apenas na profundidade de 0-5 cm. Ao se admitir que o gesso não modifica o pH do solo, conclui-se que sua elevação se deve mais especificamente à ação da vinhaça. Diversos autores também registraram o aumento do pH do solo com a aplicação de vinhaça (Glória & Magro, 1976; Stupieello et al., 1977; Mattiazzo & Glória, 1980; Glória & Orlando Filho, 1983; Tibau, 1986).

O calcário e o gesso + vinhaça foram aplicados sobre área previamente fosfatada e, quando se compararam os resultados obtidos na Tabela 2 com aqueles apresentados antes da instalação do experimento (Tabela 1), nota-se que o efeito mais marcante na elevação do pH se deveu à aplicação do termofosfato magnesiano, nas camadas abaixo de 5 cm. Com a aplicação de calcário não se conseguiu alterar os valores já alcançados com a aplicação do termofosfato.

O efeito corretivo do termofosfato magnesiano sobre a acidez do solo, tem sido abordado com frequência na literatura. Neste sentido, Defelipo et al. (1978), observaram modificações no pH de um Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa, de 4,1 para 6,0; 6,5; 7,1 e 7,5, com a utilização de 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> de termofosfato, respectivamente. Em estudos realizados com cana-de-açúcar em areia quartzosa no Estado de São Paulo, Morelli et al. (1991), verificaram elevação no pH do solo de 5,0 para 5,6 e 6,1, utilizando-se 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente, na forma de termofosfato. Outros resultados que constatarem aumento do pH com o uso do termofosfato, foram relatados por Goedert & Lobato (1984) e Büll (1993). Coutinho et al. (1991), por sua vez, avaliando a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho em um Latossolo Vermelho escuro de textura média, não constatarem variação no pH do solo, utilizando doses de 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de termofosfato. Pode-se afirmar, portanto, que o efeito desse corretivo no pH do solo depende do poder tampão e da quantidade utilizada de termofosfato. De acordo com Souza & Yasuda (1995), apesar do efeito neutralizante da acidez, o uso do termofosfato pode ser economicamente inviável para alguns solos que necessitam de grandes quantidades de corretivo. Nesses casos, os autores sugerem a complementação com o uso de calcário; entretanto, no presente trabalho a utilização de calcário complementar não contribuiu para a elevação do pH do solo, além dos níveis alcançados pelo termofosfato, mesmo se utilizando uma recomendação para elevar a saturação por base para 60%.

A saturação por bases do solo foi estatisticamente superior apenas na profundidade de 10-20 cm, para o sistema de

**Tabela 2.** Valores de pH, saturação por bases, Ca, Mg e K trocáveis, e P disponível em quatro profundidades do solo em função da aplicação de corretivos e de sistemas de cultivo

Profundidade cm	Corretivos				Sistemas de Cultivo			
	T+C	T+G+V	T	DMS	PD	PC	DMS	CV %
pH em CaCl <sub>2</sub>								
0-5	5,5 b	5,8 a	5,6 ab	0,29*	5,7	5,6	ns	4,07
5-10	5,5	5,7	5,5	ns	5,6	5,6	ns	4,11
10-20	5,4	5,5	5,5	ns	5,4	5,4	ns	5,23
20-40	5,3	5,2	5,3	ns	5,0	5,2	ns	4,16
V (%)								
0-5	74 a	70 ab	66 b	6,04**	71	69	ns	6,6
5-10	73 a	66 b	65 b	5,49**	68	68	ns	6,2
10-20	66 a	57 b	56 b	8,45*	56 B	63 A	6,33*	12,18
20-40	58 a	48 b	48 b	7,56*	49	53	ns	17,86
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )								
0-5	53 a	49 ab	45 b	7,61*	50	47	ns	11,96
5-10	51	46	45	ns	47	47	ns	14,41
10-20	43	39	39	ns	38	43	ns	19,32
20-40	33 a	31 a	26 b	5,74*	27	32	ns	24,54
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )								
0-5	27 a	23 b	22 b	3,0**	26 A	23 B	2,01*	9,46
5-10	26	23	24	ns	24	24	ns	14,13
10-20	23	18	18	ns	21	18	ns	17,97
20-40	16	14	14	ns	15	16	ns	15,65
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )								
0-5	2,7 b	5,5 a	2,4 b	1,05*	3,9	3,2	ns	22,77
5-10	1,8 b	3,4 a	1,6 b	0,94*	1,9 B	2,6 A	0,63 *	31,55
10-20	0,9 b	2,6 a	1,2 b	0,80*	1,3 B	1,9 A	0,53*	38,91
20-40	0,7 b	1,4 a	0,8 b	0,57*	1,3 A	1,6 A	ns	33,87
P (mg dm <sup>-3</sup> )								
0-5	68 ab	88 a	56 b	22,38*	79 A	64 B	14,98*	24,20
5-10	58 ab	73 a	55 b	16,81*	59 A	65 A	11,66ns	20,73
10-20	40 a	33 ab	27 b	12,53*	25 B	42 A	8,39**	28,82
20-40	31 a	32 a	15 b	11,34*	21 A	15 B	5,36*	18,65

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas entre corretivos e maiúsculas entre sistemas de cultivo, diferem estatisticamente em nível de 5% pelo teste de Tukey. (C) calcário, (G) gesso; (V) vinhaça; (T) termofosfato magnesiânico; (PD) plantio direto e (PC) preparo convencional do solo; \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade

cultivo em plantio convencional. Esta superioridade pode ser reflexo da melhor homogeneização do perfil do solo devido ao uso de arado e grade para incorporação dos corretivos. Verificou-se que dentre os corretivos, que a aplicação do termofosfato + calcário foi superior à aplicação do termofosfato em todas as profundidades estudadas e superior ao termofosfato + gesso + vinhaça, exceto na profundidade de 0-5 cm. Pelos resultados, constatou-se um aumento substancial na saturação por bases quando comparada com a amostragem realizada antes da instalação do experimento (Tabela 1), sugerindo que apenas a utilização de termofosfato magnesiânico pode ser uma boa estratégia para elevar a saturação por bases do solo. Defelipo et al. (1978) recomendaram 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário ou 3,0 t ha<sup>-1</sup> de termofosfato para um Latossolo Vermelho Amarelo, para se obter o mesmo resultado, em termos de saturação por bases. Efeitos no aumento da satu-

ração por bases foram também observados nos trabalhos de Goedert & Lobato (1984), Morelli et al. (1991) e Büll (1993).

Os distintos sistemas de cultivo não exerceram diferenças significativas sobre os teores de Ca trocável no solo; entre os corretivos, entretanto, a aplicação de termofosfato + calcário elevou significativamente os teores desse elemento em relação ao tratamento com termofosfato nas profundidades 0-5 e 20-40 cm. Os valores do tratamento com aplicação do termofosfato + gesso + vinhaça foram superior ao tratamento com termofosfato apenas na profundidade 20-40 cm, e seu resultado indica uma distribuição mais eficiente do Ca em profundidade, que no solo tratado apenas com termofosfato.

Nas condições experimentais, o termofosfato + calcário não diferiu do termofosfato + gesso + vinhaça quanto à distribuição de cálcio no perfil do solo, que pode estar relacionado à grande quantidade de cálcio no perfil e à mudança

do pH do solo, com a aplicação do termofosfato; contudo, de acordo com os critérios de interpretação apresentados por van Raij et al. (1996), os teores de Ca no tratamento com termofosfato estão situados na classe de teor alta para plantas anuais. Desta forma, apenas a utilização do termofosfato magnésiano seria suficiente para atender às necessidades de Ca para a cultura do milho.

Os teores de Mg trocável foram afetados pelos sistemas de cultivo apenas na profundidade de 0-5 cm, sendo o plantio direto superior ao preparo convencional. O acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais do solo, em plantio direto, é comumente citado na literatura (Muzilli, 1985; Dick et al., 1991; Sá, 1993). Isto se deve a formação de um gradiente químico devido, principalmente, à ausência de mobilização do solo neste sistema de cultivo. Entre os corretivos, verificou-se que o calcário apresentou maior teor de Mg em relação aos demais, em razão da maior quantidade do elemento nesse corretivo. Por outro lado, apenas o uso do termofosfato foi suficiente para atender às necessidades da cultura, visto que tal corretivo tem se mostrado eficiente na correção desse elemento no solo. Tais resultados corroboram com os obtidos por Defelipo et al. (1978), que verificaram aumentos de Mg de 5,0 para 20,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, para as doses de termofosfato de 1,5 para 6,0 t ha<sup>-1</sup>.

O K apresentou distribuição mais homogênea no perfil do solo no preparo convencional quando comparado com o sistema plantio direto. Entre os corretivos, o tratamento termofosfato + gesso + vinhaça foi superior aos demais, elevando o teor de K trocável para a classe considerada muito alta para culturas anuais, na profundidade de 0-5 cm, porque a aplicação de vinhaça adicionou ao solo 152 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para os demais corretivos, o teor deste elemento foi médio (van Raij et al., 1996).

O P disponível do solo apresentou, após a colheita do milho, diferenças entre os sistemas de cultivo nas profundidades de 0-5, 10-20 e 20-40 cm. A disponibilidade de P na profundidade de 0-5 cm, no plantio direto foi maior que no preparo convencional e, contrariamente, na profundidade de 10-20 cm a maior disponibilidade de P foi observada no preparo convencional. Este resultado corrobora outros resultados de que o P tende a se acumular nas camadas mais superficiais do solo no sistema plantio direto (Sá, 1993; Rheinheimer et al., 1998). O maior teor de P obtido de 5 a 20 cm, no preparo convencional, pode ser atribuído à inversão da leiva do solo por ocasião do preparo, fazendo com que o P seja distribuído de forma mais uniforme, em profundidade. Assim, os teores de P no solo verificados após a fosfatagem, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em todos os tratamentos, estiveram na classe considerada alta para culturas anuais (van Raij et al., 1996).

Quanto aos corretivos utilizados, a aplicação de termofosfato + gesso + vinhaça proporcionou maior disponibilidade de P em comparação ao termofosfato, em todas as profundidades, exceto na de 10 a 20 cm. A aplicação de termofosfato + calcário, entretanto, não diferiu do termofosfato + gesso + vinhaça e foi superior ao termofosfato nas profundidades de 10-20 e de 20-40 cm.

Os efeitos da aplicação de vinhaça no aumento da dispo-

nibilidade de P no solo têm sido mencionados na literatura. Glória & Orlando Filho (1983) enfatizaram que o P pode ter sua disponibilidade aumentada com a adição de vinhaça, seja por ação direta dos componentes da matéria orgânica ou indireta, pelo aumento do pH, aumento da atividade microbiana ou efeitos físicos. De acordo com Mattiazzo & Glória (1980), é freqüente a afirmação de que a matéria orgânica aumenta a disponibilidade de fósforo no solo devido ao efeito quelante sobre o ferro e o alumínio e a intensificação da ação microbiana.

A maior disponibilidade de P no tratamento termofosfato + gesso + vinhaça, pode também ter relação com a presença do gesso, em virtude da competição do P com os íons SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> pelos mesmos sítios de adsorção. Oliveira et al. (1986) verificaram aumento na disponibilidade de P em um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado (Goiânia, GO), quando aumentou de 0,25 para 1 Mg ha<sup>-1</sup> a quantidade de gesso aplicado ao solo.

De forma geral, a melhoria na fertilidade do solo, quando se comparou a análise realizada antes da instalação do experimento com os resultados obtidos após a colheita, se deveu, principalmente, ao efeito corretivo do termofosfato magnésiano, indicado através do aumento do pH, P e percentagem de saturação por bases. O calcário e o gesso + vinhaça, quando combinados com termofosfato magnésiano, não exerceram benefícios adicionais à fertilidade do solo, mas ocorreu tendência geral de maior disponibilidade de nutrientes na camada mais superficial no plantio direto, quando comparado com o sistema plantio convencional.

#### Nutrientes nas folhas do milho

Dentre os teores de nutrientes nas folhas do milho, apenas o Mg apresentou variação significativas em função dos corretivos aplicados. Entre os sistemas de cultivo verificaram-se diferenças significativas apenas para as concentrações de N e Fe, apresentando o preparo convencional valores superiores ao plantio direto (Tabela 3), e não foram registrados efeitos significativos da interação corretivo *versus* sistemas de cultivo.

O teor médio de N nas folhas do milho (21,3 g kg<sup>-1</sup>) foi inferior aos valores de 27,5-32,5 e 27,0-35,0 g kg<sup>-1</sup> apresentados por Bull (1993) e Cantarella & van Raij (1996), respectivamente, como valores adequados para esta cultura. Os baixos teores de N podem ser reflexo da ausência da adubação nitrogenada para a cultura.

O teor médio de K entre os tratamentos, foi 17,8 g kg<sup>-1</sup>, considerado adequado para a cultura que, de acordo com Bull (1993) e Cantarella & van Raij (1996), se situa entre 17,5-29,7 e 17,0-35,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No tratamento termofostato + calcário, os teores desse elemento no solo são considerados médios (van Raij et al., 1996) e no tratamento termofosfato + gesso + vinhaça, os valores passaram da faixa média para alta, mas, mesmo nessas condições, não ocorreu uma maior concentração de K nas folhas do milho. Possivelmente, a baixa quantidade de N disponível no solo tenha limitado a absorção de K pela cultura. Este resultado sugere que a adubação nitrogenada poderia trazer benefícios, em termos de produtividade, para a cultura do milho.

**Tabela 3.** Teores de nutrientes em folhas de milho no estágio de florescimento em função da aplicação de corretivos e de sistemas de cultivo

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
<b>Corretivos</b>									
T + C	21,5	3,65	17,8	4,48	2,32 b	60	115	28	7,3
T + G + V	20,8	3,26	17,4	5,32	3,30 a	52	122	32	5,3
T	21,6	3,31	18,1	4,03	2,16 b	57	117	28	5,5
DMS	0,21	0,66	4,38	1,43	0,88	18,38	45,43	8,48	18,35
<b>Sistemas de cultivo</b>									
PD	20,4 B	3,34	18,14	4,99	2,81	56	101B	27,9	6,3
PC	22,2 A	3,47	17,34	4,24	2,37	56	135A	30,2	5,6
DMS	0,14	0,44	2,92	0,96	0,58	12,28	30,48	5,68	12,28
CV%	7,72	14,69	19,01	23,95	26,13	24,95	35,08	22,52	24,95

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas entre corretivos e maiúsculas entre sistemas de cultivo, diferem estatisticamente em nível de 5% pelo teste de Tukey. (C) calcário, (G) gesso; (V) vinhaça; (T) termofosfato magnésiano; (PD) plantio direto e (PC) preparo convencional do solo

Os teores de P e Ca nas folhas do milho mostraram-se adequadas para a cultura (van Raij et al., 1996). A aplicação do termofosfato elevou a concentração desses elementos no solo para teores altos, dificultando o aparecimento de diferenças entre os tratamentos utilizados no experimento.

O teor de Mg nas folhas das plantas no tratamento termofostato + gesso + vinhaça, foi superior ao tratamento termofostato + calcário e ao tratamento com termofosfato. Era esperada uma absorção menor de Mg associada ao aumento das concentrações de Ca e K trocáveis. Há situações na literatura em que as concentrações de Mg nas plantas podem ser afetadas pelos teores de K no solo, apenas em baixas concentrações de Mg trocável (Fonseca & Meurer, 1997), mas no presente trabalho os níveis de Mg no solo estiveram na classe de teor alto em todos os tratamentos.

Dentre os micronutrientes analisados observou-se absorção diferenciada em relação aos sistemas de cultivo, apenas para o ferro. O milho cultivado em preparo convencional apresentou maior concentração deste micronutriente em relação à cultura no sistema plantio direto. Apesar de não haver sido realizada análise de micronutrientes no solo, é possível que tenha havido maior disponibilidade deste micronutriente no preparo convencional, devido à maior mineralização ocorrida neste sistema de preparo. De forma geral, os teores, tanto de Fe quanto dos demais micronu-

trientes, estão dentro dos limites considerados adequados para a cultura do milho (Cantarela & van Raij, 1996).

#### Produtividade de grãos e componentes de produção

Os valores dos componentes da produção expressa pela população de plantas e comprimento das espigas do milho (Tabela 4) não foram influenciados significativamente pelos diferentes corretivos aplicados ao solo nem pelos distintos sistemas de cultivo. Com relação à população final de plantas, constatou-se não haver variação significativa nos tratamentos utilizados.

A população média de 47.660 plantas ha<sup>-1</sup> obtida neste experimento ficou um pouco acima da recomendada pela empresa produtora da cultivar, quando utilizada na época da safrinha, no estado de São Paulo, em torno de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup>; contudo, como não houve deficiência hídrica durante o período experimental, esta população não foi fator restritivo para a produtividade da cultura. É possível que até populações maiores que a utilizada pudessem trazer incrementos na produtividade. Shioga et al. (1999), estudando os efeitos de densidade populacional sobre o rendimento do “milho safrinha”, em três localidades no estado do Paraná, observaram acréscimos na produtividade quando aumentaram a população de 33.333 para 55.555 plantas ha<sup>-1</sup>. Os autores creditam esses resultados às boas precipitações ocorridas nos

**Tabela 4.** Resultados médios de população final de plantas, comprimento de espiga, fileiras de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de milho, em função da aplicação de corretivos e de sistemas de cultivo

Tratamento	Densidade populacional	Comprimento de espigas	Número de fileiras de grãos	Massa de 100 grãos	Produtividade de grãos
	Plantas ha <sup>-1</sup>	cm	fileiras espiga <sup>-1</sup>	g	kg ha <sup>-1</sup>
<b>Corretivos</b>					
T + C	47.173	18,74	13,80 a	31,41	6.489
T + G + V	48.246	18,77	13,62 ab	31,90	6.457
T	47.576	18,06	13,10 b	31,82	6.219
DMS	5.549	1,06	0,58	0,77	708
<b>Sistemas de cultivo</b>					
PD	46.867	18,47	13,30 B	31,36 B	6.087 B
PC	48.462	18,57	13,72 A	32,06 A	6.689 A
DMS	3.716	0,71	0,39	0,51	474
CV%	8,97	4,43	3,32	1,86	8,53

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas entre corretivos e maiúsculas entre sistemas de cultivo, diferem estatisticamente em nível de 5% pelo teste de Tukey. (C) calcário, (G) gesso; (V) vinhaça; (T) termofosfato magnésiano; (PD) plantio direto e (PC) preparo convencional do solo

diversos estádios de desenvolvimento da cultura, em todas as localidades estudadas.

Os valores médios de comprimento de espiga do milho também não variaram estatisticamente entre os tratamentos; os resultados demonstram que, neste trabalho, o comprimento de espiga não foi fator de possíveis diferenças na produtividade.

O número de fileiras de grãos por espiga, por sua vez, apresentou efeito significativo dos sistemas de cultivo e dos corretivos, mas não indicou efeito significativo para a interação entre ambos. O sistema de preparo convencional, onde as plantas apresentaram maior teor de N, mostrou-se superior ao plantio direto para esta variável. De acordo com Fancelli & Dourado-Neto (1997) a baixa disponibilidade de N no solo pode limitar o número de fileiras de grãos e outros eventos fisiológicos da cultura do milho. Vários autores têm demonstrado que o sistema de plantio direto, quando comparado com o sistema convencional de preparo do solo, apresenta menor disponibilidade de N, seja por lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  (Muzilli, 1985) ou por menores taxas de mineralização (Bayer & Mielniczuk, 1997). Entre os corretivos, observou-se que a adição de calcário proporcionou aumento significativo no número de fileiras de grãos quando comparado com o termofosfato, ambos não diferindo do tratamento que recebeu adição de termofosfato + gesso + vinhaça.

Para os valores médios da massa de 100 grãos, observou-se efeito significativo pelo teste F apenas para o fator “sistemas de cultivo” em que o sistema de plantio convencional foi superior ao plantio direto. Este componente é fortemente influenciado pela disponibilidade hídrica nos estádios de formação e enchimento de grãos. Como não houve déficit hídrico para a cultura, esses resultados podem estar relacionados com a melhor nutrição da cultura no plantio convencional em estádios anteriores à formação do grão.

A produtividade de grãos não variou em função dos corretivos, porém foi significativamente influenciada pelos sistemas de cultivo (Tabela 4). No preparo convencional produziu-se cerca de 600 kg ha<sup>-1</sup> de grãos a mais quando comparado com o plantio direto. Normalmente, este fato tem ocorrido com produções obtidas quando da implantação do sistema de plantio direto, em que o mesmo não se encontra ainda totalmente estabilizado do ponto de vista físico e biológico. Vários trabalhos de pesquisa em diferentes situações edafo-climáticas, concordam com os resultados obtidos neste trabalho, demonstrando que, no primeiro ano de cultivo, a cultura do milho, apresenta produtividades no sistema plantio direto, na maioria das vezes semelhantes ou inferiores às obtidas no sistema de preparo convencional (Santos et al., 1998 e Bicudo & Santos, 1999). Os maiores teores de N no plantio convencional podem explicar os melhores resultados obtidos para número de fileiras de grãos por espiga e massa de 100 grãos neste sistema de cultivo, com reflexos na produtividade.

## CONCLUSÕES

1. Em solo corrigido com termofosfato magnésiano, as alterações nos atributos químicos do solo promovidas pela

calagem e pela aplicação conjunta de gesso + vinhaça, não proporcionam benefícios adicionais à produção do milho.

2. O menor teor de N nas folhas do milho no sistema de plantio direto, reduziu a produção da cultura neste sistema de cultivo.

3. O número de fileiras de grãos por espiga e a massa de 100 grãos obtidos no sistema de preparo convencional resultaram na maior produtividade de grãos da cultura, em relação ao sistema plantio direto.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos durante o Doutorado do primeiro autor.

## LITERATURA CITADA

- Agrianual. Anuário Agrícola Brasileiro 99. São Paulo: Argos Comunicação, 2000. 437p.
- Bayer, C.; Mielniczuk, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p.235-239, 1997.
- Bicudo, S. J.; Santos, J. R. Arranjos de preparo do solo: características físicas e cobertura vegetal do solo na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* (L.)). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, 1999, Pelotas. Resumos... Pelotas: SBEA, 1999. CD Rom.
- Büll, L. T. Nutrição mineral do milho. In: Büll, L. T.; Cantarella, H. *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 1993. p.66-145.
- Cantarella, H.; van Raij, B. Cereais. In: van Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. (ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 147p. Boletim Técnico 100
- Coutinho, E. L. M.; Natale, W.; Stupiello, J. J.; Carnier, P. E. Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. *Científica*, São Paulo, v.19, p.93-104, 1991.
- Defelipo, B. V.; Borges, R. E.; Mendonça, B. M. Adubos fosfatados na correção da acidez do solo. *Seiva*, Viçosa, v.38, p.41-50, 1978.
- Dick, W. A.; McCoy, E. L.; Edwards, W. M.; Lal, R. Continuous application of tillage to Ohio soils. *Agronomy Journal*, Madison, v.83, p.65-73, 1991.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- Fancelli, A. L.; Dourado-Neto, D. Fenologia do milho. In: Fancelli, A. L.; Dourado-Neto, D. (Lood.). *Tecnologia de produção de milho*. Piracicaba: Publique, 1997. p.131-40.
- Fonseca, J. A.; Meurer, E. J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p.47-50, 1997.

- Gloria, N. A.; Magro, J. A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria da Usina da Pedra. In: Seminário Copersucar da Agroindústria Açucareira, 1, 1976, Águas de Lindóia. Anais... São Paulo: Copersucar, 1976. p.163-180.
- Glória, N. A.; Orlando Filho, J. Aplicação de vinhaça como fertilizante. Boletim Técnico do Planalsucar, Araras, v.5, p.5-38, 1983.
- Goedert, W. J.; Lobato, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.8, p.97-102, 1984.
- 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 Fósforo, 1997. 319p.
- Mattiazzo, M. E.; Glória, N. A. Fracionamento de formas de fósforo em solos incubados com vinhaça. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v.95, p.24-37, 1980.
- Morelli, J. L. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas produtividades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.15, p.57-61, 1991.
- Muzilli, O. A fertilidade do solo em plantio direto. In: Fancelli, A. L. Atualização em plantio direto. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p.147-160.
- Oliveira, I. P.; Kluthcouski, J.; Reynier, F. N. Efeito do fosfogesso na produção de feijão e arroz e no comportamento de alguns nutrientes. In: Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura, 1, 1986, Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA, 1986. p.45-83.
- Pavan, M. A.; Volkweiss, S. J. Efeitos do gesso nas relações solo-planta: princípios. In: Seminário sobre uso do fosfogesso na agricultura, 1, 1986, Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA, 1986. p.107-18.
- Rheinheimer, D. S.; Kaminski, J.; Lupatini, G. C.; Santos, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema de plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, p.715-723, 1998.
- Sá, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.
- Santos, H. P.; Tomm, G. O.; Lhamby, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.19, p.449-454, 1995.
- Santos, J. R.; Marques, J. P.; Lima, C. L. C.; Bicudo, S.J. Preparos reduzidos para a cultura do milho. In: Balbuena; R. H., Benez, S. H.; Jorajuria, D. Labranza. Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito Latinoamericano. La Plata: UNLP, 1998. p.165-170.
- Shioga, P. S.; Oliveira, E. D.; Gerage, A. C. Efeitos de densidade populacional e doses de nitrogênio sobre o rendimento de dois híbridos em épocas não convencionais. In: Seminário sobre a Cultura do Milho Safrinha, 5, 1999, Barretos. Anais... Campinas: IAC, 1999. p.123-6.
- Souza, D. M. G.; Ritchey, K. D. Uso do gesso no solo do Cerrado. In: Seminário sobre Uso do Fosfogesso na Agricultura, 1, 1986, Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA, 1986. p.119-144.
- Souza, E. C. A.; Yasuda, M. Uso agrônômico do termofosfato no Brasil. São Paulo: Fertilizantes Mitsui, 1995. 60p.
- Stupiello, P.; Peixe, C. A.; Monteiro, H.; Silva, L. H. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v.90, p.185-194. 1977.
- Tibau, A. O. Matéria orgânica e fertilidade do solo. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1986. 96p.
- van Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. Boletim Técnico, 100
- van Raij, B.; Quaggio, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: IAC, 1983. 41p. Boletim Técnico, 81
- Zambello, J. E.; Orlando Filho, J. Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. Araras: Planalsucar, 1981. p.5-26. Boletim Técnico 3