



RECOMENDAÇÕES DE FERTILIZAÇÃO FOSFATADA PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS DE GRÃOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI

Ursino Frederico Barreto Riquelme¹, Telmo Jorge Carneiro Amado², Douglas Dalla Nora³, Rafael Pivotto Bortolotto⁴, Leandro Ricardo de Nadai Geib⁵

1. Engenheiro Agrônomo Doutor da Universidade Federal de Santa Maria
2. Professor Doutor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS)
3. Graduando em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria Departamento de Solos da UFSM, Av. Roraima 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS) (douglasdnpg@gmail.com) *Autor para correspondência.
4. Engenheiro Agrônomo Doutor da Universidade Federal de Santa Maria
5. Engenheiro Agrônomo Mestrando da Universidade Federal de Santa Maria. Brasil.

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi à condução de experimentos de calibração em cinco diferentes locais na Região Oriental do Paraguai, visando gerar as recomendações de adubação fosfatada para as culturas de trigo, milho e soja sob SPD. Os experimentos foram conduzidos desde 2003 a 2006, em solos com diferentes texturas e níveis iniciais de fertilidade, em regiões representativas de produção de grãos e em locais com histórico de adoção do SPD do país. No Departamento de Misiones conduziu-se um experimento; no Departamento de Itapúa em um local; no Departamento de Alto Paraná em dois locais e um no Departamento de Amambay. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. Para o P as parcelas principais foram adubadas com cinco doses de P (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹) visando a criação de níveis de fertilidade e semeadas posteriormente com trigo. Nas subparcelas foram aplicadas quatro doses de P (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P) no momento da implantação do milho e da soja visando à obtenção de curva de resposta. O teor crítico para solos de 410-600 g kg⁻¹ de argila (Classe 1) foi de 12 mg dm⁻³ e para solos de 210 a 400 g kg⁻¹ de argila (Classe 2) foi de 15 mg dm⁻³. A dose de manutenção estabelecida para o trigo foi de 10 kg ha⁻¹, para o milho foi de 12,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e para a soja de 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por tonelada de grãos exportados.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilidade do solo, fósforo, teor crítico.

RECOMMENDATION OF PHOSPHATE AND POTASSIUM FERTILIZATION TO THE MAIN GRAIN CROPS UNDER NO-TILLAGE IN PARAGUAI

ABSTRACT

This research aimed to generate the recommendations of phosphate through experiments of calibration in five places in the "Região Oriental" from Paraguai. The

experiments were carried out since 2003 to 2006, in soils with different texture and beginning levels of fertility, in representative areas of grains crops production and in areas with historic of adoption of the no-tillage in the country. In the Misiones Department were carried one experiment; in the Itapuá Department in one area; in the Alto Paraná Department in two areas and one in the Amambay Department. The experimental design used was randomized blocks with subdivided plots and three replicates. To the phosphorus the main plots were fertilized with five doses of P (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹) with the purpose of create levels of fertility and sowed with wheat later. In the sub plots were applied four doses of P (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ of P) during the corn and soybean installation with the purpose of obtain the response curve. The critical tenor to soils with 410-600 g kg⁻¹ of clay (Class 1) was 12 mg dm⁻³ and to the soils of 210 a 400 g kg⁻¹ of clay (Class 2) was 15 mg dm⁻³. The maintenance dose established for wheat was 10 kg ha⁻¹, for corn was 12.5 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and soybeans 15 kg ha⁻¹ of P₂O₅ per ton of grain exported.

KEYWORDS: Soil fertility, potassium, sufficient tenor.

INTRODUÇÃO

As recomendações de fertilização têm como principal finalidade facilitar e auxiliar na tomada de decisão de aplicação de fertilizantes, que se necessita para obtenção de rendimentos de máxima eficiência econômica (SILVA et al., 2008). Saliendo a importância das indicações numéricas das tabelas, devemos também dar importância ao histórico de cultivo da área, o histórico de adubação e calagem, as produtividades obtidas e as esperadas, as condições sócio-econômicas do produtor rural, o sistema de manejo e tipo de solo, o clima da região e o impacto ambiental da tecnologia a ser utilizada (CUBILLA et al., 2012).

Para a obtenção de resultados positivos na utilização das tabelas de qualquer sistema de recomendação de fertilizantes, a análise do solo deve ser calibrada para as condições locais, isto é, para cada região específica (SCHLINDWEIN & GIANELLO, 2008). Onde que, uma das etapas mais importantes é a determinação analítica para que, de tal forma, todo o sistema possa ser corretamente utilizado e os objetivos propostos serem alcançados (ANGHINONI & VOLKWEISS, 1984).

O Paraguai ainda está passando por esse processo de calibração de nutrientes para diferentes culturas. Atualmente, aproximadamente 90 % da área agrícola do Paraguai está sendo cultivada sob sistema plantio direto (SPD) (CUBILLA et al., 2012), com destaque para o sudeste, oeste e nordeste da Região Oriental.

Nas últimas duas décadas, com a adoção do SPD, foram introduzidas significativas mudanças na produção de grãos no Paraguai, com reflexos na fertilidade do solo, destacando-se a amostragem do solo, que passou a ser feita na camada de maior concentração de nutrientes (0-0,10 m) (FOIS, 2010), e o gradativo incremento de produtividade média das principais culturas, devido ao melhoramento genético e ao aprimoramento das práticas de manejo (CAPECO, 2009).

No Paraguai ainda são escassas as informações a respeito dos ajustes necessários na recomendação de fertilizantes, dentre elas, as de fósforo (P), em especial no SPD (FATECHA, 1999). Nesse sistema, a eficiência da adubação com P é mais adequada, pelo fato do não revolvimento do solo, onde desta forma diminui-se a exposição dos sítios de adsorção (GATIBONI et al., 2007). Os fertilizantes fosfatados adicionados ao solo geralmente acumulam P nas camadas superficiais e

o de camadas profundas são ciclados pelas plantas para a superfície, isto devido também ao não revolvimento do solo (SCHLINDWEIN & ANGHINONI, 2000). Na adoção do SPD na sua fase inicial a construção de níveis de P exige uma quantidade maior de fertilizantes fosfatados (CUBILLA, et al., 2012). Com o passar dos anos de adoção e fertilização do SPD, se tem como resultado a saturação dos sítios localizados na camada superficial, desta maneira a construção dos níveis ocorre de uma forma mais rápida e intensa (SÁ et al., 2009). Observa-se em primeiro lugar a saturação dos sítios mais ávidos e o remanescente geralmente é redistribuído em frações retidas com menor energia e, conseqüentemente se tem maior capacidade de dessorção, e maior disponibilidade às plantas (RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001).

Nesse contexto, foram realizados experimentos de calibração em rede, em diferentes localidades, visando à obtenção de recomendação preliminar de adubação a base de P para as culturas de trigo, milho e soja sob SPD.

MATERIAL E METODOS

Os experimentos foram conduzidos na Região Oriental entre os paralelos 22° 05' e 27° 30' latitude sul e 54° 15' e 58° 38' longitude oeste e altitude média de 840 m. O clima da Região Oriental do Paraguai é classificado, como Cfa: sub-tropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. A precipitação média anual está entre 1300 mm ao Oeste e 1900 mm ao Leste da Região Oriental, onde a temperatura média mensal do ar é de 17 a 27 °C.

Os solos das áreas experimentais onde foram conduzidos os experimentos (Tabela 1) são predominantemente Argilosos em sua maior parte são Latossolos Vermelhos (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), Oxisols e Alfisols, segundo a Classificação americana de solos (SOIL SURVEY STAFF, 2010). Os experimentos foram conduzidos entre os anos de 2003 à 2006, em regiões com as características mais representativas de produção de grãos com histórico de SPD.

TABELA 1. Departamentos (experimentos) da Região Oriental do Paraguai, local, e solos utilizados onde foram conduzidos os experimentos de calibração.

Unidades Experimentais	Local	Solo ⁽¹⁾	Solo ⁽²⁾	Argila g kg ⁻¹
Misiones	San Patricio	Ultisol	Argissolo	250
Itapúa	Fran	Ultisol	Argissolo	355
Alto Paraná 1	Yguazú	Oxisol	Latossolo	395
Alto Paraná 2	Naranjal	Alfisol	Latossolo	470
Amambay	Pedro Juan Caballero	Alfisol	Latossolo	560

⁽¹⁾Classificação Americana de Solos (SOIL SURVEY STAFF, 2010). ⁽²⁾Classificação Brasileira de Solos (EMBRAPA, 2006).

Um total de cinco experimentos foram conduzidos em rede, em quatro departamentos do País (Tabela 1). No Departamento de Misiones foi conduzido um experimento, com baixa fertilidade inicial; no Departamento de Itapúa também foi conduzido um experimento com baixa fertilidade inicial; no Departamento de Alto Paraná foram conduzidos dois experimentos de baixa fertilidade, porém de diferente textura, e um no Departamento de Amambay também de baixa fertilidade (CQFS-RS/SC, 2004) (Tabela 2).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. As dimensões das parcelas experimentais foram de 5 x 8 m. As parcelas principais foram adubadas com cinco doses de P (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹), visando a criação de níveis de fertilidade e nas sub-parcelas foram aplicadas quatro doses de P (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) no momento da implantação das culturas visando à obtenção de curva de resposta, sendo efetuadas a lanço em superfície antes da semeadura.

TABELA 2. Característica de fertilidade de solos no tratamento sem adição de fósforo na camada 0 – 10 cm de profundidade.

Experimento	Argila	MO ⁽¹⁾	pH _{H2O}	P ⁽²⁾	K ⁽³⁾	Ca ⁽⁴⁾	Mg ⁽⁵⁾	Al ⁽⁶⁾	CTC
	---- g kg ⁻¹ ----			--mg dm ⁻¹ --		-----cmol _c L ⁻¹ -----			
Misiones	250	25	5,2	11,9	47,3	5,2	1,6	0,2	14,7
Itapúa	355	25	6,2	3,5	195,4	7,7	1,6	0,0	13,2
Alto Paraná 1	395	29	5,3	7,6	203,9	6,4	1,0	0,1	13,7
Alto Paraná 2	470	42	6,5	7,9	359,0	12,8	1,8	0,0	18,7
Amambay	560	44	6,7	5,2	256,0	13,9	2,0	0,0	19,8

Matéria orgânica⁽¹⁾, Fósforo⁽²⁾, Potássio⁽³⁾, Cálcio⁽⁴⁾, Magnésio⁽⁵⁾, Alumínio⁽⁶⁾. As análises seguiram as metodologias propostas por Tedesco et al. (1996).

O experimento Misiones foi instalado em abril de 2003, sendo conduzidas na primeira etapa do projeto três safras, no inverno de 2003, verão 2003/04 e inverno de 2004, e na segunda etapa do projeto uma safra, a de inverno 2005. Não foi possível avaliar a safra de verão 2004-2005.

O experimento denominado Itapúa foi instalado em outubro de 2003, imediatamente antes da safra de verão. Na qual foram conduzidas duas safras na primeira etapa do projeto, uma no verão de 2003/04 com o milho e a soja e outra no inverno de 2004, com o trigo, e na segunda etapa do projeto foram conduzidas três safras, no verão de 2004-2005 também com milho e soja, inverno de 2005 com trigo e no verão de 2005-2006 com soja e milho, sendo a área estava sob pousio invernal, apresentando baixa produção de palha sobre a superfície.

O experimento denominado Alto Paraná 1 foi instalado em outubro de 2003. Neste experimento foram conduzidas duas safras na primeira etapa do projeto, verão de 2003/04, e no inverno de 2004 foi conduzido com a cultura trigo. E na segunda etapa do projeto, foi conduzida uma safra mais, a do verão de 2004-2005 com soja novamente. O experimento denominado Alto Paraná 2 também foi instalado em outubro de 2003, foram conduzidas duas safras na primeira etapa do projeto, a de verão de 2003/04 com milho e soja e a de inverno de 2004 com trigo, e na segunda etapa do projeto, também foram conduzidas duas safras, no inverno de 2005 com trigo, e no verão de 2005-2006 com soja e milho.

O experimento denominado Amambay foi instalado em outubro de 2003, foram conduzidas duas safras, verão de 2003/04 com milho e soja, e a de inverno de 2004 com trigo na primeira etapa, e na segunda etapa foram conduzidas também duas safras, a de verão de 2004-2005 com soja e milho, e no verão de 2005-2006 com soja e milho.

Todos os experimentos foram conduzidos sob SPD; as semeaduras foram efetuadas nas épocas recomendadas segundo as recomendações técnicas regionais, para atingir as máximas produções das culturas. O trigo foi semeado em meados de maio tanto em 2003, 2004 e 2005. O milho e a soja foram implantados

na primeira semana de novembro de 2003, 2004 e 2005.

As adubações de nitrogênio e potássio foram mantidas constantes e satisfatórias para atender a necessidade das culturas. Para determinação da produção de grãos foram coletadas ao acaso 0,25 m² totalizando 0,75 m² por parcela. Para o trigo de 2004 foi coletada uma área de 3,2 m² por parcela com uma colheitadeira de precisão austríaca, marca Wintersteiger, no mês de outubro nos respectivos anos. Na cultura do milho e da soja coletaram-se amostras de 6 m lineares (duas linhas de 3 m) no centro das parcelas. Os mesmos procedimentos foram realizados na segunda etapa do projeto, isto é, para as safras de soja e milho 2004-2005, trigo de 2005 e soja e milho de 2005-2006. Todas as produtividades foram corrigidas para 13% de umidade no grão.

As coletas de solo foram feitas na camada de 0–10 cm de profundidade após cada colheita das culturas, sendo efetuadas 10 subamostras por subparcela, compondo uma amostra composta. As análises foram processadas no laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Maria, seguindo método descrito por Tedesco et al. (1995). O método de laboratório para determinação do P foi o de Mehlich 1, utilizando o colorímetro.

As doses foram aplicadas em todas as safras, respeitando as mesmas quantidades e nas mesmas parcelas. O qual variou na segunda etapa da condução dos experimentos. Isto é, para as safras de inverno de 2005, e do verão de 2005-2006. O qual resultou nesta segunda etapa do projeto, fazendo uma análise dos dados já obtidos na primeira etapa, e verificando que somente teríamos algumas possibilidades de obter mais pontos para as curvas, foi decidido a aplicação no caso do P em só uma das parcelas com as doses 120 kg no nível 200 kg de P. O rendimento relativo (RR) das culturas foi obtido pela equação 1:

$$RR = \frac{R_t - R_0}{R_1 - R_0} \times 100 \quad (1)$$

O rendimento da cultura no tratamento sem P_e foi estimado pela função de produção ajustada, ou seja, o intercepto "a" da equação de regressão entre as doses de P e o rendimento de grãos. Para o valor de rendimento máximo da cultura foi utilizado o valor estimado pela equação de regressão. A curva de calibração foi obtida pela relação entre os valores de P no solo determinados pelo método Mehlich 1 e os valores de RR calculado pela equação 1.

A escolha da função a ser utilizada no ajuste dos dados da calibração foi feita pelo programa de computação "TABLE CURVE 2D v 5", que classificou as mesmas pelo valor de r². A equação selecionada foi à forma exponencial da equação de Mitscherlich (2) que melhor se ajustou aos dados, a equação foi forçada a alcançar o rendimento relativo de 100%.

$$y = A \left(1 - e^{-bx} \right) \quad (2)$$

onde: (y) representa o RR; (A) representa a produtividade máxima; (b) é o coeficiente de eficácia do elemento; (x) é a quantidade de nutriente em kg ha⁻¹.

Foi definido como teor crítico o valor do nutriente no solo para a probabilidade de aproximadamente 90% do rendimento máximo, como foi definido nos Programas de Adubação no RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004).

O nível crítico foi ajustado para adequar classes de teores equidistantes, denominadas muito baixo, baixo e médio (teor crítico). Acima do teor crítico também foram estabelecidas duas classes de fertilidade, onde o teor crítico foi multiplicado por dois obtendo-se o limite entre as duas faixas, denominadas alto e muito alto conforme proposto por CQFS-RS/SC, 2004. Foram determinadas doses de P (P ha^{-1}) para a correção do teor de P. As doses de correção são calculadas para atingir valores acima do teor crítico em três cultivos.

A quantificação da dose de P para as faixas de fertilidade, muito baixo, baixo e médio, foi obtida multiplicando-se a quantidade necessária para elevar o teor em 1 mg dm^{-3} no solo pela diferença entre o valor do teor crítico e o valor da faixa de fertilidade em estudo (CQFS-RS/SC, 2004). Este valor foi dividido por três cultivos, sendo que, se aplicará 50%, 30% e 20% do total no primeiro, segundo e terceiro cultivos, respectivamente.

A diferença entre o valor do elemento no teor crítico e o valor original de cada solo representa o aumento da fertilidade proporcionado pela adição do fertilizante. Assim, foi possível elaborar uma tabela de recomendações com base nos valores em kg ha^{-1} de P necessários para elevar o teor em 1 mg dm^{-3} no solo, até atingir o teor crítico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor crítico de P no solo foi determinado a partir da equação exponencial Mitscherlich, onde a mesma foi a que melhor se ajustou aos dados de rendimento relativo com os de teores extraídos do solo (Figura 1, 2 e 3).

Os rendimentos das culturas de trigo, soja e milho nos experimentos foram próximos aos rendimentos médios das lavouras comerciais no Paraguai. Na maioria dos experimentos estudados houve resposta à aplicação de P, com exceção das situações em que os teores iniciais foram muito altos, como é o caso da Missiones (Tabela 2) ou quando ocorreu déficit hídrico.

O principal fator considerado na elaboração das tabelas de recomendação de adubação fosfatada para os estados do RS e SC é o teor de argila do solo, pelo fato de que o mesmo tem influência na extração do P disponível às plantas pelo método Mehlich1 (SIQUEIRA et al., 1987; CQFS-RS/SC, 2004). A CQFS-RS/SC (2004), agruparam os solos em 4 classes texturais, já para os estados de Mato Grosso, Minas Gerais e Paraná (FUNDAÇÃO MT, 2005). Neste trabalho os solos em estudo foram agrupados em apenas duas classes texturais, os de classe 1 com 410-600 g Kg^{-1} de argila e os de classe 2 com 210-400 g kg^{-1} de argila (Figura 1).

Com os dados obtidos na primeira e segunda etapa do projeto, definiram-se dois teores críticos de P no solo, determinado pelo método Mehlich-1 (Figura 1- primeira etapa do projeto) e (Figuras 2 - segunda etapa do projeto), que corresponde as duas classes de texturas em que foram agrupados os solos estudados, isto é, para os solos de 210 a 400 g kg^{-1} de argila que seria a classe 2, foi determinado um teor crítico de 15 mg dm^{-3} , e para os solos de 410 a 600 g kg^{-1} de argila no caso o solo classe 1, o valor foi de 12 mg dm^{-3} , estes valores correspondem a um rendimento relativo de 90%. E para os dois tipos de solos juntos foi determinado um teor crítico de 12 mg dm^{-3} .

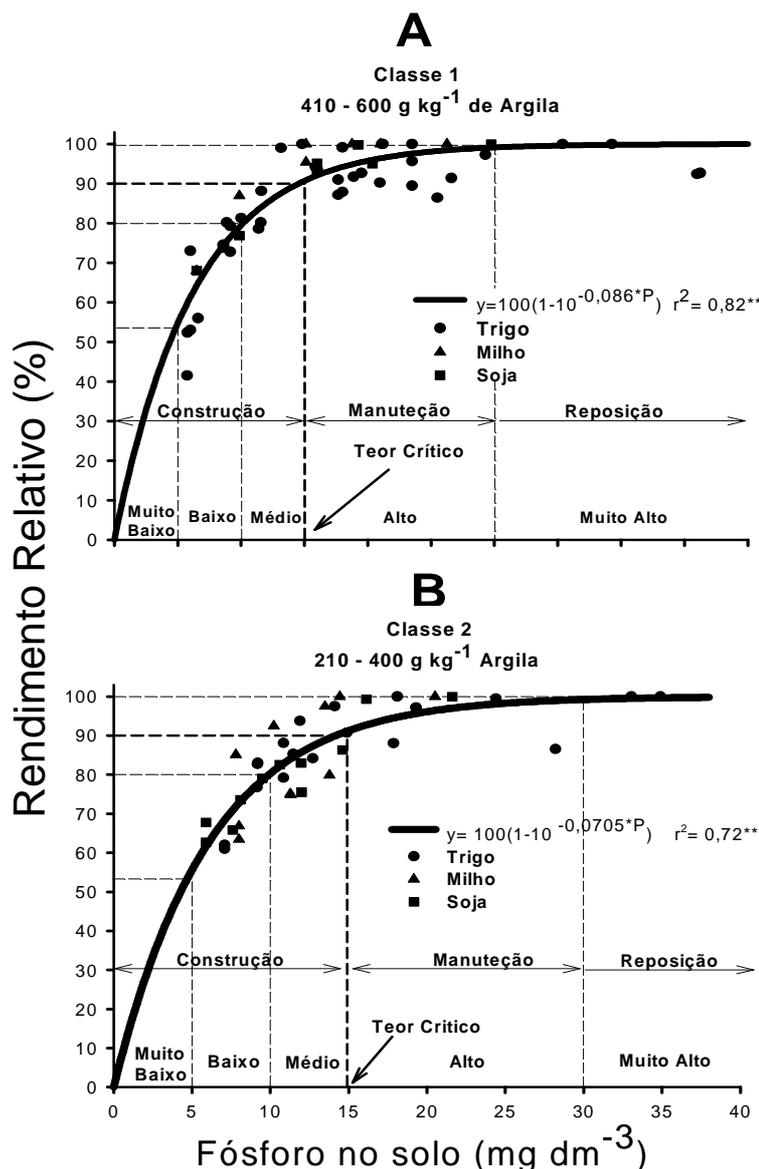


FIGURA 1. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Classe 1 (Experimentos Itapuá, Alto Paraná 2 e Amambay) (A) e Classe 2 (experimentos Misiones, Alto Paraná 1) (B). ** Significativo ($P < 0,01$).

Na segunda etapa do estudo, com os diferentes solos novamente submetidos à adubação fosfatada, foi observado que os valores dos teores críticos quando os solos foram separados por textura e agrupados em duas classes, mostraram valores similares e iguais, aos valores obtidos na primeira etapa do projeto, sendo que estes valores foram: para o solo classe 1 = 12 mg dm^{-3} e o solo classe 2 = 15 mg dm^{-3} (Figura 2).

A resposta máxima da cultura à aplicação do nutriente é o principal critério levado em conta para a determinação do teor crítico, onde se tem um valor numérico subjetivo, pois o mesmo pode variar com uso de funções alternativas. O valor do

teor crítico utilizado nas tabelas de recomendação pode ser definido pelo cálculo econômico, determinando-se o ponto de máxima da função lucro, ou arbitrariamente, escolhendo-se um valor de rendimento relativo (FOIS, 2010).

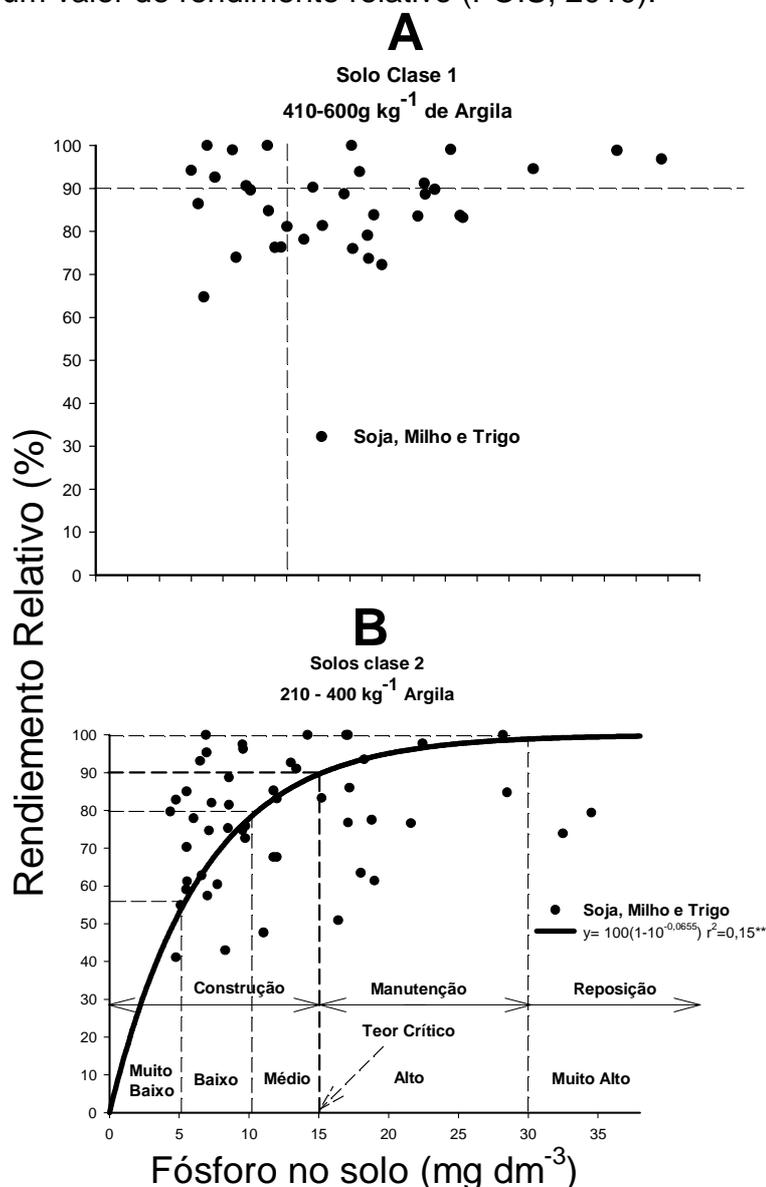


FIGURA 2. Teor crítico de fósforo no solo na segunda época do projeto, determinado por Mehlich⁻¹, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Classe1(Experimentos Itapuá, Alto Paraná 2 e Amambay) (A) e Classe 2 (experimentos Misiones, Alto Paraná 1) (B). ** Significativo (P < 0,01).

Posteriormente, foram agrupados os dados obtidos na primeira e segunda etapa do estudo, fazendo com que haja mais resultados para a calibração aumentando assim a confiabilidade das respostas obtidas (Figura 3). Analisando esses dados, os valores obtidos permaneceram em 15 mg dm⁻³

para a classe 2 e 12 mg dm⁻³ para a classe 1 (Figura 3). De acordo com a CQFSRS/SC (2004), o teor crítico de P no solo para a primeira classe de argila é de 12 mg dm⁻³ e, para a segunda, de 9 mg dm⁻³. Assim, os valores dos teores críticos de P encontrados nesta pesquisa sob SPD, nas classes texturais estudadas, foram superiores aos propostos pela CQFSRS/SC (2004).

Devido a melhoria genética das culturas agrícolas, o aumento da extração de P nos solos proporcionou maior potencial de rendimento das culturas avaliadas, as quais demandam uma quantidade mais elevada de nutrientes (SCHLINDWEIN, 2003). SCHLINDWEIN & ANGHINONI (2000) encontraram, em experimentos de longa duração sob SPD, concentração de P, aproximadamente, 50 % maior na camada de 0–0,10 m quando comparada a camada de 0–0,20 m de profundidade.

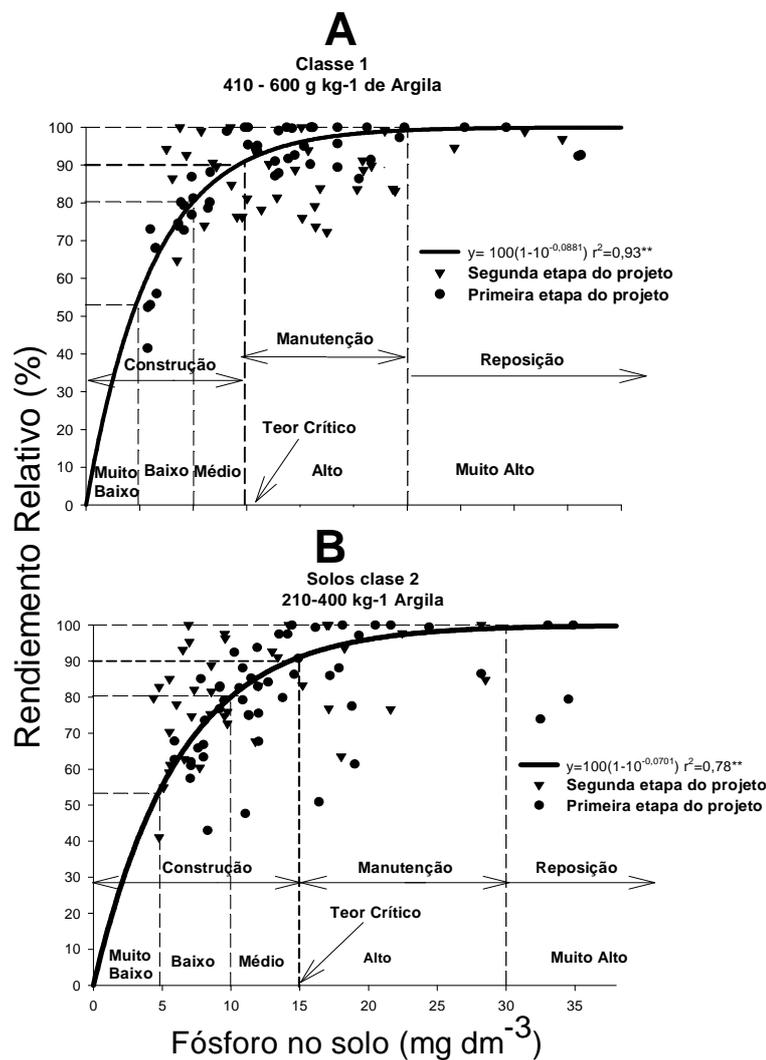


FIGURA 3. Teor crítico de fósforo no solo nas duas etapas do projeto, determinado por Mehlich⁻¹, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Classe 1 (Experimentos Itapuá, Alto Paraná 2 e Amambay) (A) e Classe 2 (experimentos Misiones, Alto Paraná 1) (B). ** Significativo (P < 0,01).

O comportamento dos diferentes solos estudados foi semelhante quanto a construção de níveis de P, lembrando que os mesmos diferiam na quantidade de argila variando de 250 g kg⁻¹ a 560 g kg⁻¹ de argila (Figura 3).

No Tabela 3 podemos observar que serão necessários em média 22 kg de P para elevar 1 mg dm⁻³ nas áreas com histórico de adubação enquanto que, os solos com adubação fosfatada limitada é necessário 35,5 kg de P para elevar 1 mg dm⁻³, ou seja há uma diferença de 13,5 kg de P entre as diferenças de manejo. Quando foi separado os solos em duas classes texturais, isto é, uma de 250 a 400 g kg⁻¹ de argila e a outra de 410 até mais ou menos 600 g kg⁻¹ de argila, podemos verificar que nos solos onde se tem menor teor de argila precisariam em média da adição de 23 kg de P ha⁻¹, e no caso dos que tem maior teor de argila 20 kg de P ha⁻¹ para elevar 1 mg dm⁻³ no solo. Esta diferença foi de 3 kg de P considerando a classe textural. Esse efeito em solos de adubação adequada é decorrente da saturação dos sítios de adsorção da camada superficial, resultando em menor quantidade de fertilizante necessária para construção dos níveis de P (BISSANI et al., 2008; CIAMPITTI, 2009). Dessa maneira ocorre uma maior eficiência dos fertilizantes fosfatados sob SPD consolidado. Por outro lado, em solos com histórico de adubação limitada e com baixo teor inicial de P disponível para as plantas resulta em menor elevação dos teores no solo com a aplicação do fertilizante fosfatado (BISSANI et al., 2008).

TABELA 3. Quantidade necessária de P em kg ha⁻¹ para elevar 1 mg dm⁻³ de P em solos com histórico de adubação fosfatada sob sistema plantio direto.

Experimento	Teor de argila g kg ⁻¹	r ²	Equação	P para elevar 1,0 mg dm ⁻³ o teor de P disponível Kg ha ⁻¹
Solos com adubação fosfatada adequada				
Misiones	250	0,97	y = 0,034P + 30,934	30
Alto Paraná 1	395	0,98	y = 0,0612P + 11,425	16
Alto Paraná 2	470	0,96	y = 0,0501P + 18,566	20
Média	371	0,97	y = 0,0485P + 20,308	22
Solos com adubação fosfatada limitada				
Itapuá	355	0,98	y = 0,034P + 7,2081	31
Amanbuy	560	0,98	y = 0,0244P + 12,436	40
Média	457	0,98	y = 0,0292P + 9,82205	35,5
Média geral				28,7

A Tabela 4 consiste nas propostas de recomendações preliminares que foram obtidos a partir dos resultados acumulados durante a primeira e segunda etapa do estudo para as culturas de soja, trigo e milho onde os solos foram classificados em Classe 1 e 2, conforme o teor de argila e também divididos de acordo com o histórico de adubação.

O conceito de recomendação de adubação fosfatada proposto para o Paraguai foi adaptado a partir da recomendação atualmente

utilizada nos estados do RS e SC (GIANELLO & WIETHÖLTER, 2004). A recomendação aqui ajustada tem como finalidade uma adubação de correção, para os teores que se encontram abaixo do nível crítico, e para os teores acima do nível crítico a adubação será de manutenção e reposição. Considerando as condições econômicas da maioria dos produtores do Paraguai, esta proposta preliminar de adubação será uma adubação corretiva gradual integrada por uma adubação de manutenção. Deste modo as doses para a correção foram calculadas com objetivo de alcançar o nível crítico no decorrer de três safras, isto é, para três cultivos. Com os valores encontrados nas duas etapas do projeto onde os mesmos estão descritos no Tabela 3, foi verificada uma média geral, na qual serão necessários a adição de 28,7 kg de P para elevar 1 mg dm⁻³ de P disponível no solo. Neste sentido, a dose de correção de P para os teores muito baixo e baixo foi obtida multiplicando-se o valor que foi estimado pela diferença entre o valor do nível crítico e o valor superior da faixa em questão (CQFSRS/SC, 2004). Para a aplicação das doses dos valores que foram calculados para os teores de baixo e muito baixo, foi considerado três cultivos, onde as doses foram divididas em 50, 30 e 20%, que serão aplicados em cada um dos três cultivos (Tabela 4). Já no caso do teor médio, foi estimado um valor de 30 kg ha⁻¹ de P, lembrando que o mesmo será recomendado só para o primeiro cultivo. O principal objetivo da realização da adubação de correção é elevar os teores no solo a níveis próximos ao máximo retorno econômico (CQFSRS/SC, 2004). Essa recomendação está sendo apresentada de forma preliminar, devendo passar por uma validação de campo, por meio do acompanhamento de demais lavouras comerciais.

TABELA 4. Proposta preliminar de recomendação de fósforo para soja, milho, e trigo sob sistema plantio direto no Paraguai.

Classe	Recomendação para três cultivos		
	1º cultivo	2º cultivo	3º cultivo
	-----kg ha ⁻¹ de P -----		
Muito baixo	105 + M	63 + M	42 + M
Baixo	52 + M	32+ M	21 + M
Médio	30 + M	M	M
Alto	M	M	M
Muito alto	0	0	0

R= reposição (exportação das culturas). O valor R para as seguintes culturas é: trigo: 8 kg de P, milho: 10 kg de P e soja: 12 kg de P por toneladas de grãos produzidos. M= manutenção (R x 1,25). O fator 1,25 corresponde a possíveis perdas de nutrientes do sistema de manejo.

A possibilidade de resposta das plantas é muito baixa ou nula quando o teor de P no solo está acima do nível crítico, onde que abaixo, essa possibilidade de resposta das plantas aumenta à medida que o teor de P no solo se afasta do teor crítico (TIECHER et al., 2012). Seguindo essa mesma linha de pensamento o limite inferior da classe denominado “alto” coincide com o teor crítico, e onde se tem a possibilidade de se obter rendimentos que se aproximem à máxima eficiência econômica das culturas (FOIS, 2010).

Considerando o teor “muito alto”, o qual geralmente corresponde a teores que se encontram acima do dobro do teor crítico, isto é, contém altas quantidades do nutriente P para o desenvolvimento das plantas, sendo que o teor mais apropriado

para um bom desenvolvimento das culturas e a produtividade das mesmas depara-se na classe denominado “alto” (GIANELLO & WIETHÖLTER, 2004). Uma vez alcançada esta classe “alto”, o tipo de adubação será à de manutenção, onde devem ser o suficiente para repor as quantidades que serão exportadas pelos grãos, massa seca, etc, mais uma quantidade específica para suprir ocasionais perdas do sistema que possam acontecer, tais como erosão, lixiviação, etc (CQFSRS/SC, 2004). No teor do solo denominado classe “muito alto” as adubações podem ser somente iniciais ou em alguns casos até podem ser exoneradas onde as expectativas de preços forem baixos ou fazer um investimento em outros nutrientes que poderiam estar prejudicando as produtividades. Quando o teor no solo se encontra nas classes denominado “médio”, “baixo” ou “muito baixo”, as adubações devem suprir as necessidades das culturas, mais uma quantidade específica para poder atingir o teor crítico no solo, para desta maneira alcançar o teor ideal para o bom desenvolvimento das culturas que está na classe denominado “alto” de P no solo (CUBILLA et al., 2012).

De acordo com a CQFSRS/SC, 2004, a exportação de kg de P por tonelada de grãos retirados pelas culturas de trigo e milho esta em média entre 10 e 8 kg respectivamente, onde que a cultura da soja tem uma maior taxa de exportação quando comparada com a do trigo e milho, essa exportação por tonelada produzida da soja está em torno de 14 kg de P por tonelada. Com tudo para o Boletim de pesquisa de Soja (FUNDAÇÃO MT, 2005) a exportação para a soja esta em torno de 10,1 kg de P ha⁻¹.

Neste estudo realizado no Paraguai, foi considerada uma média dos valores encontrados pela Fundação MT, 2005 e CQFSRS/SC, 2004, desta forma obtendo-se um valor para a reposição de 12 kg de P ha⁻¹ exportado. Com a obtenção desses valores foi calculado as doses de manutenção, multiplicando-os por 1,25, onde que desta forma foi estabelecido uma dose de manutenção de 10 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para o trigo, 12,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para o milho e de 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a soja por tonelada de grãos exportados (Tabela 3).

Quando os teores no solo estão abaixo do teor denominado crítico, o principal objetivo de uma recomendação, é de construir uma fertilidade no solo até alcançar a classe denominado “alto”, onde as possibilidades de resposta são baixas. Uma vez que o teor no solo consiga alcançar a classe denominado “alto” o objetivo da recomendação será a de manter o teor nesta classe, isto é, ficar sempre acima do teor crítico onde a possibilidade de resposta é muito baixa (CQFSRS/SC, 2004). E quando esse teor no solo se encontra na classe denominado “muito alto”, neste caso pode-se deixar de aplicar por um período de tempo determinado, ou fazer pequenas aplicações de doses, para que desta forma se possa economizar e construir a fertilidade de outro nutriente, e também nos dá a possibilidade de corrigir outros problemas que poderiam estar limitando a produtividade das culturas (FOIS, 2010; CUBILLA et al., 2012).

O modo ou forma de aplicações dos adubos pode ser feito tanto a lanço como na linha, pois apresentaram a mesma eficiência sempre e quando os teores de P no solo se enquadram acima do teor crítico (CARMONA et al., 2009).

CONCLUSÕES

O teor crítico determinado para solos Classe 1 que corresponde a 410 - 600 g kg⁻¹ de argila foi de 12 mg dm⁻³, e para solos Classe 2 que corresponde a 210 - 400

g kg⁻¹ de argila foi de 15 mg dm⁻³.

O teor crítico de P determinado para as culturas de soja, milho e trigo, foram de 15, 10 e 12 mg dm⁻³ respectivamente.

A dose de manutenção estabelecida para o trigo foi de 10 kg ha⁻¹, para o milho foi de 12,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e para a soja de 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por tonelada de grãos exportados.

REFERÊNCIAS

ANGHINONI, I. & VOLKWEIS, J. S. **Recomendações de uso de fertilizantes**. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Brasília. Anais. EMBRAPA/DEP, 1984. p.179-204.

BISSANI, A. C.; GIANELO. C.; CAMARGO, A. O. F.; TEDESCO, J. M. **Fertilidade dos Solos e Manejo da Adubação de Culturas**. (Ed. 2) Porto Alegre, 2008. 245p.

CAPECO – **Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas**. [online], 2009. Disponível em: www.capeco.org.py. Acesso em: 20 de fevereiro de 2013.

CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. HOLZSCHUH, M. J.; FRAGA, T. Estabelecimento do arroz irrigado e absorção de Cátions em função do manejo da adubação Potássica e do nível de salinidade no solo . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.371-383, 2009.

CIAMPITTI, I. **Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo**. 2009 .116f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Escuela para egresados Alberto Soriano, Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC - CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2004, 400p.

CUBILLA, M. M.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F; AMADO, T. J. C.; MILNECZUCK, J. **Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girassol**. Bajo el sistema de siembra directa em el Paraguay, Asunción, 2012, 81p.

ELTZ, F. L. F.; VILLALBA, E. H.; LOVATO, T. Adubação fosfatada para girassol sob sistema plantio direto no Paraguai. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.899-904, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Embrapa Produção da Informação**, Brasília, 2006, 306p.

FATECHA, A. **Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la región oriental del Paraguay**. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Caacupé, **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p.1914 2013

1999. 23p.

FOIS, D. A. F. **Balanço e evolução temporal de fósforo e potássio em três solos sob sistema plantio direto no Paraguai.** 2010. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FUNDAÇÃO MATO GROSSO (FMT). **Boletim de Pesquisa de Soja.** Rondonópolis. 2005. p 103-125. (Boletim, 09).

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31. p.691-699, 2007.

GIANELLO, C. & WIETHÖLTER, S. **Novo sistema de adubação para as culturas de grãos nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** In: Reunião sul-brasileira de ciência do solo, 5. Florianópolis, 2004 Anais. Florianópolis, Resumos expandidos: SBCS-NRS, 2004. CD ROM.

RHEINHEIMER, D. S. & ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.36, p151-160, 2001.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; LAL, R.; DICK, W. A.; PICCOLO, M. D. E. C.; FEIGL, B. E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chorno sequence in a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Reseach* , v.104, p.56-64, 2009.

SCHLINDWEIN, J. A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto.** 2003. 169 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SCHLINDWEIN, J. A. & ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.611-617, 2000.

SCHLINDWEIN, J. A. & GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2037-2049, 2008.

SILVA, A. A.; ARNS, I.; LIMA, C. V. S.; SCHNEIDER, A. B.; DELATORRE, C. A. Diferenciação de genótipos de trigo quanto à tolerância à deficiência de fósforo, em solução hidropônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1949-1958, 2008.

SIQUEIRA, O.J.F; SCHERER, E.E.; TASSINARI,G. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Passo Fundo, EMBRAPA/CNPT, 1987. 100p

SOIL SURVEY STAFF. *Keys to Soil Taxonomy.* 11^a ed.Washington DC, USDA-Natural Resources Conservation Service, 2010. 338p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J.. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p., 1995, (Boletim Técnico, 5).

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of Inorganic Phosphorus in Soil under Different Long Term Soil Tillage Systems and winter Crops(1) **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.271-281, 2012.