

Calibração visando à adubação potássica para as culturas da soja, trigo e milho sob sistema plantio direto no Paraguai

Recommendation of potassium fertilization to the main grain crops under no-tillage in Paraguay

Ursino Federico Barreto Riquelme¹
Telmo Jorge Carneiro Amado²
Douglas Dalla Nora^{3(*)}
Rafael Pivotto Bortolotto⁴
Cristiano Keller⁵

Resumo

O alcance de elevados rendimentos e da máxima eficiência econômica é obtido com o auxílio das recomendações de fertilização, as quais influenciam a correta tomada de decisões. O objetivo deste trabalho foi gerar recomendações de adubação potássica para as culturas de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto (SPD) a partir da condução de experimentos de calibração em cinco diferentes locais na Região Oriental do Paraguai. Os experimentos foram conduzidos de 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. Foi conduzido um experimento nos departamentos de Misiones, Itapúa e Amambay e dois experimentos no departamento do Alto Paraná. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de K₂O (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹) e as aplicações foram efetuadas em superfície antes da semeadura das culturas.

-
- 1 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Pesquisador do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; Endereço: Avenida Roraima 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: ursinoriquelme@gmail.com
 - 2 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor Titular e Pesquisador do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: Avenida Roraima 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; Email: florestatel@hotmail.com
 - 3 Graduando em Agronomia; Bolsista de Iniciação Científica PIBIC-CNPQ, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; Endereço: Avenida Roraima 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: douglasdnpg@gmail.com (*) Autor para correspondência.
 - 4 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Pesquisador do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; Endereço: Avenida Roraima 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: rafaelpbortolotto@gmail.com
 - 5 Mestrando, Engenheiro Agrônomo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; Endereço: Avenida Roraima 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: leandrodenadai@gmail.com

Recebido para publicação em 31/01/2013 e aceito em 23/06/2013

Ambiência Guarapuava (PR) v.9 n.3 p. 505 - 518 Set./Dez. 2013 ISSN 1808 - 0251
DOI: 10.5935/ambiencia.2013.03.04

Foram coletadas dez amostras de solo por parcela na profundidade de 0 a 10 cm antes da semeadura e após a colheita de cada cultura. O teor crítico de potássio (K) no solo é de 75 mg dm⁻³ para as culturas de trigo, milho e soja. As classes de fertilidade de K no solo são “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”. Solos da classe de fertilidade “alto” a recomendação de K é de manutenção, 7,5 kg ha⁻¹ por tonelada de grãos de trigo e milho exportados e 25 kg ha⁻¹ por tonelada de soja exportada.

Palavras-chave: fertilidade do solo; potássio; teor crítico.

Abstract

The achievement of high yields and maximum economic efficiency is obtained with the aid of fertilization recommendations, which influence correct decisions. This research aimed to generate recommendations of potassium fertilization for crops of wheat, corn and soybean under direct plantation system through conducting calibration experiments in five different locations in the Eastern Region of Paraguay. The experiments were carried between 2003 and 2006, in soils with different texture and beginning levels of fertility, in representative areas of grains crops production and in areas with record of adoption of the direct plantation system. An experiment was conducted in the departments of Misiones, Itapúa and Amambay and two experiments in the department of Alto Paraná. The experimental design used was randomized blocks with subdivided plots and three replicates. And to the potassium the treatments were five doses of K₂O (0, 25, 50, 75 and 100 kg ha⁻¹) and the applications were done in the surface before the crops sowing. It was sampled ten soil samples by plot in the depth of 0 to 10 cm before the sowing and after the harvest of the crop. The critical level of potassium (K) is 75 mg dm⁻³ crops of wheat, corn and soybeans. Fertility classes of K in the soil are “very low”, “low”, “medium”, “high” and “very high”. Soil fertility class “high” K is the recommendation of maintenance, 7.5 kg ha⁻¹ per ton of wheat and corn exported and 25 kg ha⁻¹ per ton of soybeans exported.

Key words: soil fertility; potassium; critical content.

Introdução

A correta tomada de decisão para a aplicação de fertilizantes remete na obtenção de altos rendimentos das culturas de grãos, atingindo assim a máxima eficiência econômica, tendo em vista que o auxílio de recomendações de fertilização é um recurso

preponderante para se atingir tais objetivos (SILVA et al., 2008). A obtenção de resultados positivos, a partir da utilização de tabelas advindas de qualquer sistema de recomendação de fertilização, tem dependência direta das análises de solo, as quais devem ser calibradas visando às condições correspondentes ao local, ou seja, as peculiaridades de cada região em

estudo (SCHLINDWEIN; GIANELLO, 2008). Nesse contexto, 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 (AQUINO, 2009).

Dependendo das características tais como, grau de desenvolvimento, material de origem e tipo de argilominerais, a dinâmica do potássio (K) no solo pode ser variável em relação a cada tipo de solo estudado (MIELNICZUK, 1982), afetando o manejo da adubação potássica e a resposta das culturas. Nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e de Santa Catarina (SC), foram realizadas pesquisas (WIETHOLTER, 1996; SILVA; MEURER, 1998) demonstrando que a resposta das culturas ao K depende da relação entre o K extraído pelo extrator Mehlich-1 (k-trocável + k-solução) e a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo. A exportação de K nos grãos das culturas, quantificada na forma de K_2O , está em torno de 6 kg Mg^{-1} para as culturas (CQFS-RS/SC, 2004).

Nas últimas duas décadas, com a adoção do sistema plantio direto (SPD), ocorreram, rapidamente, significativas mudanças na produção de grãos no Paraguai, tendo 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) (CUBILLA et al., 2007). As recomendações que o Paraguai vem utilizando atualmente também são aquelas recomendações utilizadas em diferentes regiões do Brasil, como no caso dos estados do Paraná (PR), São Paulo (SP), Minas Gerais (MG) e também do RS, e em alguns casos também utilizam recomendações feitas na Argentina (WENDLING et al., 2007). Atualmente, o Paraguai cultiva grandes áreas com trigo, soja e milho, sendo

que as recomendações de adubação para tais culturas são baseadas em um sistema proposto no ano de 1999 (FATECHA, 1999), sistema este desenvolvido para o estado de SC (WENDLING et al., 2007). O grande problema existente em torno dessas recomendações está no âmbito de que elas não foram testadas e muito menos calibradas para as condições do Paraguai, dessa maneira, corre-se o risco de que essas recomendações sejam em algumas ocasiões equivocadas ou duvidosas (CUBILLA et al., 2007).

Considerando a expressiva área de adoção do SPD no Paraguai, e principalmente pela sua importância econômica em nível nacional para a produção de grãos, foi fundada no ano de 2003 uma rede nacional de laboratórios de análises de solos (RENALAS) (CUBILLA et al., 2007), portanto, o Paraguai ainda está passando pelo processo de calibração de nutrientes para diferentes culturas. Atualmente, aproximadamente 90% da área agrícola do Paraguai está sendo cultivada sob SPD, com destaque para o sudeste, oeste e nordeste da Região Oriental (WENDLING et al., 2007), elevando assim a necessidade de um sistema de recomendação apropriado para as condições atuais do Paraguai.

Assim, o objetivo deste trabalho foi gerar recomendações de adubação potássica para as culturas de trigo, milho e soja sob SPD a partir da condução de experimentos com intuito de calibração em cinco diferentes locais na Região Oriental do Paraguai.

Material e Métodos

As unidades experimentais foram conduzidas na Região Oriental do Paraguai nas coordenadas de $22^{\circ} 05'$ e $27^{\circ} 30'$ latitude Sul e $54^{\circ} 15'$ e $58^{\circ} 38'$ longitude Oeste, com

altitude média de 840 m. Segundo Köppen (1931), o clima da região é classificado como Cfa: subtropical úmido, mesotérmico. A precipitação média anual está entre 1300 mm a Oeste e 1900 mm a Leste da Região Oriental, onde a temperatura média mensal do ar varia de 17 a 27 °C. A classificação dos solos de cada unidade experimental

estão descritos na tabela 1, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) e com a Classificação Americana de Solos (SOIL SURVEY STAFF, 2010). Os experimentos foram conduzidos entre os anos de 2003 a 2006, em regiões mais representativas de produção de grãos com histórico de SPD.

Tabela 1- Departamentos da Região Oriental do Paraguai, local e classificação dos solos onde foram conduzidos os experimentos de calibração

Unidades Experimentais	Local	Solo ⁽¹⁾	Solo ⁽²⁾
Misiones	San Patricio	Ultisol	Argissolo
Itapúa	Fran	Ultisol	Argissolo
Alto Paraná 1	Yguazú	Oxisol	Latossolo
Alto Paraná 2	Naranjal	Alfisol	Latossolo
Amambay	Pedro Juan Caballero	Alfisol	Latossolo

Fonte: Autor (2013).

Nota: ⁽¹⁾ Classificação Americana de Solos (SOIL SURVEY STAFF, 2010)..

⁽²⁾ Classificação Brasileira de Solos (EMBRAPA, 2006).

Foram conduzidos cinco experimentos dispostos em quatro Departamentos no Paraguai (Tabela 1). No departamento de Misiones, foi conduzido um experimento com baixa fertilidade, nos departamentos de Itapúa e Amambay, foi conduzido um experimento em cada departamento, com alta fertilidade. Já no departamento do Alto Paraná, foram dois experimentos, ambos com alta fertilidade, porém com diferentes texturas (CQFS-RS/SC, 2004) (Tabela 2).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições, tendo cada parcela dimensões de 5 x 8 m. As parcelas principais consistiram de cinco doses de K₂O (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹), com aplicações efetuadas em superfície antes da semeadura das culturas. Visando à criação de níveis de fertilidade, nas sub-parcelas foram aplicadas cinco doses de potássio (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de K₂O).

Tabela 2 - Característica de fertilidade de solos no tratamento sem adição de potássio na camada 0 – 10 cm de profundidade dos experimentos com doses de K₂O

Experimento	Argila	MO ⁽¹⁾	pH H ₂ O	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

Fonte: Autor (2013).

Nota: Matéria orgânica⁽¹⁾, Fósforo⁽²⁾, Potássio⁽³⁾, Cálcio⁽⁴⁾, Magnésio⁽⁵⁾, Alumínio⁽⁶⁾.

O experimento no departamento de Misiones foi instalado em abril de 2003. Na primeira etapa do projeto, foram conduzidas três safras, no inverno de 2003, verão de 2003/04 e inverno de 2004. Na segunda etapa do projeto, foi realizada uma safra, a de inverno de 2005. Foram implantadas as culturas do milho e da soja no verão e trigo no inverno.

O experimento denominado Itapúa foi instalado em outubro de 2003. No 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. Na segunda etapa do projeto, foram conduzidas três safras, no verão de 2004-2005, também com o milho e a soja, inverno de 2005 com o trigo e no verão de 2005-2006 com a soja e o milho.

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

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

duas safras, a de verão de 2004-2005 com a soja e o milho, e no verão de 2005-2006, também com a soja e o milho.

Todos os experimentos foram conduzidos sob SPD. As semeaduras foram efetuadas nas épocas recomendadas, segundo as orientações técnicas para a região, buscando atingir as máximas produções das culturas. O trigo foi semeado em meados de maio nos anos de 2003, 2004 e 2005. O milho e a soja foram implantados na primeira semana de novembro de 2003, 2004 e 2005. As cultivares utilizadas foram as mais cultivadas e produtivas das regiões de condução dos experimentos.

As adubações de P e N foram mantidas satisfatórias para atender à necessidade das culturas. A determinação da produtividade de grãos foi realizada a partir de coletas ao acaso de 0,25 m², totalizando 0,75 m² por parcela. As colheitas de trigo foram efetuadas no mês de outubro nos respectivos anos. Para as culturas do milho e da soja foram coletadas amostras de 6 m lineares (duas linhas de 3 m) no centro das parcelas. Os mesmos procedimentos foram feitos 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 de grãos foram corrigidas para 13% de umidade.

Posteriormente a colheita das culturas foram realizadas as amostragens de solo, sendo coletadas 10 subamostras por subparcela, compondo uma amostra composta. Todas as amostras foram coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade. As análises de solo foram realizadas seguindo as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995). O método de laboratório para determinação do K foi o de Mehlich-1.

O projeto, como um todo, foi dividido em duas etapas, a primeira ocorreu nas

safras de 2003 e 2004 quando as áreas experimentais foram niveladas para atingir parâmetros semelhantes de fertilidade do solo. A segunda etapa do projeto consistiu na repetição dos experimentos nos anos de 2005 e 2006. As doses foram aplicadas em todas as safras, nas mesmas quantidades e nas mesmas parcelas. A partir dos resultados

obtidos na primeira etapa do projeto, foi realizada uma variação das doses para a segunda etapa do projeto. Com os dados obtidos na primeira etapa, decidiu-se pela aplicação de K_2O somente na dose de 25 kg ha^{-1} .

O rendimento relativo (RR) das culturas foi obtido pela equação 1:

$$RR (\%) = \frac{\text{Rendimento da cultura na parcela testemunha (sem K)}}{\text{Rendimento máximo da cultura na parcela com a dose de K testada}} \times 100 \quad (1)$$

O rendimento da cultura no tratamento sem K foi estimado pela função de produção ajustada, ou seja, da equação de regressão entre as doses de K 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 K 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". A equação selecionada foi à forma exponencial da equação de Mitscherlich (2) que melhor se ajustou aos dados. A equação foi ajustada para alcançar o rendimento relativo de 100%.

$$y = A (1 - 10^{-bx}) \quad (2)$$

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 (MIELNICZUK et al. 1969; CQFS-RS/SC, 2004).

O teor 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, em que 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 K ($K_2O \text{ ha}^{-1}$) para a correção do teor de K. As doses de correção são calculadas para atingir valores acima do teor crítico em três cultivos.

As doses de K_2O 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). Esse 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 K_2O necessários para elevar o teor em 1 mg dm^{-3} no solo, a fim de atingir o teor crítico.

Resultados e Discussão

Foram calculados os rendimentos relativos das culturas, utilizados posteriormente para a calibração dos valores de K determinados com o método Mehlich⁻¹ (Figuras 1 e 2). Após a obtenção da curva de calibração para cada experimento, foi determinado o teor crítico para esse elemento e, a partir daí, foram definidas matematicamente as faixas de fertilidade do potássio no solo para as culturas (Tabela 3).

Tabela 3 - Classes de disponibilidade de K para as culturas, teor de K extraível por Mehlich⁻¹ em cada classe, rendimento relativo esperado e probabilidade de resposta das culturas a aplicação de fertilizantes potássicos nas duas etapas do projeto

Classe	K Mehlich ⁻¹ (mg dm^{-3})	RR	Probabilidade de resposta
Muito baixo	Até 25	Menor 55%	Alta
Baixo	26 – 50	56-80%	Média
Médio	51 – 75	81-90%	Baixa
Alto	76 – 150	90-100%	Muito baixa
Muito alto	Maior que 150	100%	Inexistente ou casual

Fonte: Autor (2013).

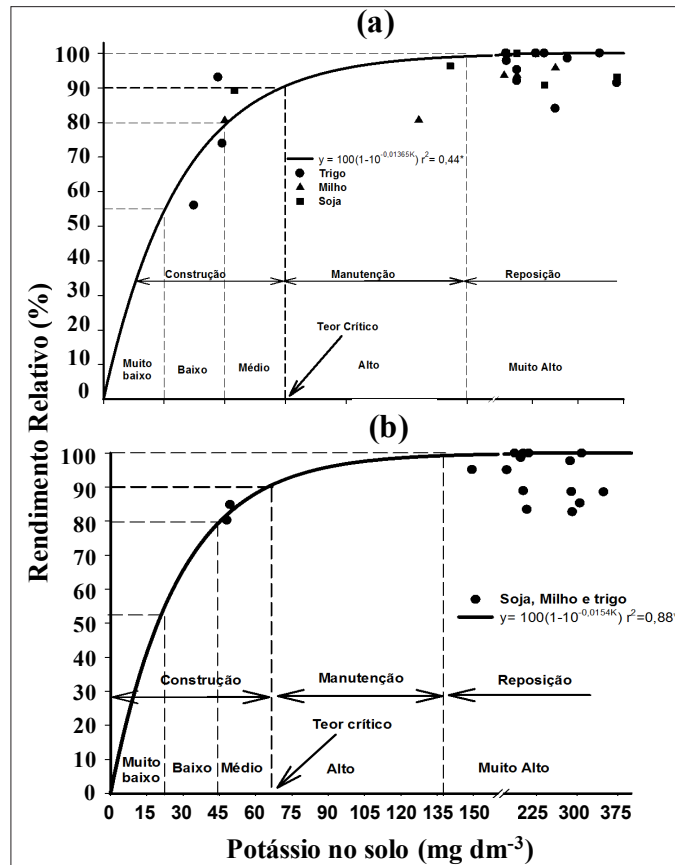
Os altos teores de K, encontrados em quase todos os experimentos na primeira etapa do projeto (Figura 1a) e segunda etapas, fizeram com que as respostas das culturas fossem muito baixas. O departamento de Misiones, com solo arenoso, foi o único com solo arenoso e consequentemente com teores mais baixos de K (Tabela 2), permitindo respostas à adubação potássica (BISSANI et al., 2008; BRUNETTO et al., 2005; KAMINSKI et al., 2007).

Com os dados obtidos na primeira e segunda etapa do projeto, foi definido o teor crítico de potássio no solo, determinado pelo método Mehlich⁻¹ que foram igual a 74 (Figura 1a) e 68 mg dm^{-3} (Figura 1b)

respectivamente, o qual corresponde a um rendimento relativo de 90%. O valor de 90% do rendimento relativo máximo é utilizado no Brasil normalmente como referência para a dose de máxima eficiência econômica, obtendo-se nesse ponto o teor crítico do nutriente (MIELNICZUK et al., 1969; SIQUEIRA et al., 1987; ELTZ et al., 2010).

O valor determinado na segunda etapa do projeto é um pouco menor quando comparado ao valor determinado na primeira etapa, sendo essa diferença igual a 6 mg dm^{-3} , o qual pode ser atribuído ao fato que na primeira etapa foi possível avaliar maior número de experimentos (Figuras 1a e 1b).

Figura 1 - Relação entre K extraído pela solução Mehlich⁻¹ e o rendimento relativo obtido com trigo, milho e soja sob plantio direto, equação de produção, coeficiente de correlação, teor crítico e faixas de fertilidade para potássio sob plantio direto no Paraguai, para a primeira etapa (a) e para a segunda etapa (b)



Fonte: Autor (2013).

Nota: Significativo ($P < 0,01$)

Considerando a CQFS-RS/SC (2004), o teor crítico de K está entre os valores de 45 e 90 mg dm⁻³, de que ele é dependente da CTC do solo, isto é, para CTC menor que 5, entre 5 e 15 e acima de 15 cmolc dm⁻³, os teores críticos de K estabelecidos são de 45, 60 e 90 mg dm⁻³ no solo, respectivamente, extraído pela solução Mehlich⁻¹ para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A partir da recomendação de Siqueira et al. (1987) foi adotado e utilizado o valor para o teor crítico de 80 mg dm⁻³, isto até a recomendação da CQFS-RS/SC (2004).

No estudo realizado por Schindwein (2003), na calibração dos métodos Mehlich⁻¹, Mehlich⁻³ e Resina de troca catiônica, foi determinado um teor crítico de K no solo de 125 mg dm⁻³, semelhante para todos os métodos testados.

Com o intuito de aumentar o número de observações e conseqüentemente aumentar a confiabilidade dos resultados, os dados obtidos na primeira e segunda etapas do projeto foram agrupados e, a partir daí, foi definido o valor de teor crítico em ambas as etapas

concomitantemente (Figura 2). Foi obtido o nível crítico de 74 mg dm^{-3} , confirmando o valor determinado na primeira etapa desse estudo (Figura 1a). Os valores encontrados na segunda etapa foram importantes para confirmar o valor de 74 mg dm^{-3} como sendo o nível crítico de K para os solos estudados no Paraguai. Assim, ao final do experimento, foi estimado um valor de 75 mg dm^{-3} para o projeto em geral (Figura 2).

A partir da determinação do teor crítico de K no solo pela equação de Mitcherlich nas duas etapas do projeto (Figura 2), ajustou-se o valor encontrado para 75 mg dm^{-3} , representando o limite superior da classe “médio”, o qual foi dividido por três para ajustar as classes equidistantes, aqui denominadas “muito baixo”, “baixo” e “médio”, sendo também multiplicado por dois para determinar o limite entre as classes “alto” e “muito alto”. Na tabela 3 estão descritas as classes de disponibilidade de K para o Paraguai.

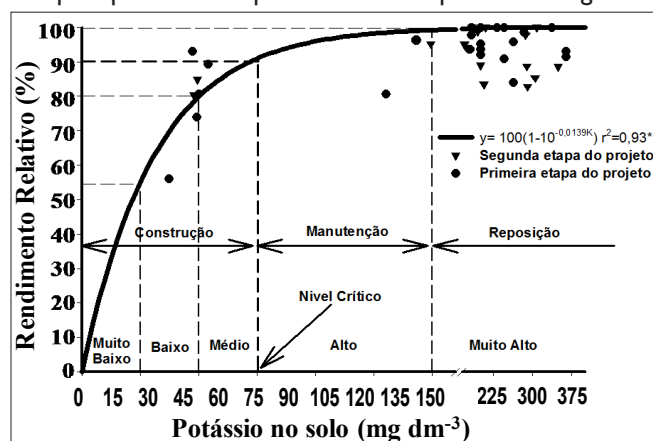
Quando os valores se encontram acima do teor crítico, a resposta das plantas são muito baixas ou nula (BISSANI et al., 2008), mas quando esses valores se encontram abaixo

do teor crítico, as probabilidades de resposta aumentam quanto mais esse valor se distancia do teor crítico (DIERINGS, 2008). Considerando esse fato, o limite inferior da classe denominado “alto” se encaixa com o teor crítico, ponto no qual é possível se obter os rendimentos que se aproximam à máxima eficiência econômica das culturas (CUBILLA et al., 2007).

Para que as culturas se desenvolvam e tenham uma boa produtividade, o teor no solo adequado situa-se no teor “alto”. Uma vez alcançado esse nível no solo as adubações serão de manutenção, sendo essa quantidade suficiente para repor o que foi exportada pelos grãos, massa seca, etc., (FOLONI; ROSOLEM, 2008) e mais uma quantidade para suprir as eventuais perdas do sistema tais como erosão, lixiviação, etc (CERETTA et al., 2002; WERLE et al., 2008).

Nas condições em que os níveis de K encontram-se com teores classificados como “muito alto”, as aplicações de K podem ser reduzidas ou até mesmo exoneradas, nesse caso, pode-se realizar maiores investimentos em outro nutriente que esteja limitando a produtividade (RIQUELME, 2008).

Figura 2 - Relação entre K extraído pela solução Mehlich¹ e os rendimentos relativos obtido com trigo, milho e soja sob plantio direto, equação de produção, coeficiente de correlação, teor crítico para potássio sob plantio direto na primeira e segunda etapa do projeto



Fonte: Autor (2013).

No caso dos teores que se encontram nas classes “médio”, “baixo” e “muito baixo”, as aplicações devem atender a necessidade das culturas e atingir o teor crítico determinado para o solo.

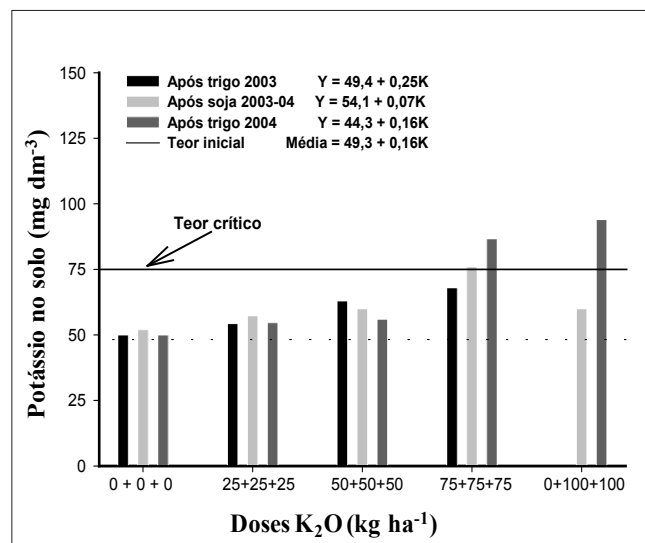
Devido aos elevados níveis de K na maioria dos experimentos estudados (Tabela 2), a resposta de aumento do teor de K no solo devido as aplicações de K_2O foi determinada exclusivamente no experimento Misiones 1, o qual apresentava baixos teores iniciais de K no solo (Tabela 2).

Na figura 3, encontra-se a necessidade de K_2O (em kg) para elevar o teor de K do solo em um $mg\ dm^{-3}$ nas diferentes épocas de avaliação do experimento. Considerando o trigo

em sucessão ao milho, na qual ele apresenta um valor do fator “b” das equações similares nas diferentes épocas avaliadas, isto é, um valor de 0,25 k, determinou-se $4\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O para elevar em $1\ mg\ dm^{-3}$ o teor no solo. No caso da sucessão com a cultura da soja, foi verificado um valor de 0,16 K, na qual seriam necessários $6\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O para elevar em $1\ mg\ dm^{-3}$ o teor de K. Dessa forma, nesse estudo, obteve-se uma média de $5\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O para elevar em $1\ mg\ dm^{-3}$ o teor de K no solo.

A partir das classes de K (Tabela 3) e da necessidade de K_2O para elevar os teores de K no solo em $1\ mg\ dm^{-3}$ (Figura 3), foram criadas as propostas de recomendação da soja, milho e trigo (Tabela 4).

Figura 3 - Teor de K extraído por Mehlich¹ em três épocas, teor inicial, equações de resposta do solo à aplicação de K na sucessão trigo/soja/trigo no experimento Misiones, Paraguai



Fonte: Autor (2013).

Neste estudo, a proposta preliminar de adubação sugerida é um ajuste da recomendação de adubação que atualmente está sendo utilizada no Brasil, especificamente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004). A recomendação aqui ajustada tem

como finalidade indicar uma adubação de correção para os teores que se encontram abaixo do nível crítico, e para os teores acima do nível crítico a adubação sugerida será de manutenção e reposição. A proposta preliminar de adubação constituiu uma adubação corretiva gradual integrada por

uma adubação de manutenção. Desse modo, as doses para a correção foram calculadas com objetivo de alcançar o nível crítico no decorrer de três safras (Tabela 4).

Com o valor médio de 5 kg de K_2O para elevar 1 mg dm^{-3} de K disponível no solo, encontrado nesse trabalho (Figura 3), foi estabelecida uma dose de correção de K_2O para os teores muito baixo e baixo, a qual foi obtida multiplicando-se o valor estimado pela diferença entre o valor do

nível crítico e o valor superior da faixa em questão (CQFS-RS/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% respectivamente, para aplicação em cada um dos três cultivos. Já no caso do teor médio, foi estimado um valor de 40 kg ha^{-1} de K_2O , lembrando que o mesmo será recomendado só para o primeiro cultivo.

Tabela 4 - Proposta preliminar de recomendação de potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai

Classe	Recomendação para três cultivos		
	1º cultivo	2º cultivo	3º cultivo
	-----kg ha ⁻¹ de K ₂ O -----		
Muito baixo	125 + M	75 + M	50 + M
Baixo	62 + M	38 + M	25 + M
Médio	40 + M	M	M
Alto	M	M	M
Muito alto	0	0	0

Fonte: Autor (2013).

Nota: R= reposição (exportação das culturas). O valor R para as seguintes culturas é: trigo e milho: 6 kg de K_2O , e soja: 20 kg de K_2O por toneladas de grãos produzidos.

M= manutenção ($R \times 1,25$). O fator 1,25 corresponde a possíveis perdas de nutrientes do sistema de manejo.

Os valores de reposição, isto é, valores que as culturas exportam são diferentes. Enquanto a soja exporta 20 kg ha^{-1} de K_2O por tonelada de grão produzido, o trigo e o milho exportam, em média, 6 kg de K_2O por tonelada de grão (CQFS-RS/SC, 2004). Os valores aqui referidos correspondem às doses de reposição, os quais são utilizados para calcular as doses de manutenção. Para tal efeito, esses valores são multiplicados por 1,25, dessa forma, as doses que correspondem a manutenção serão de $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O para trigo e milho, e de 25 kg ha^{-1} de K_2O para a soja, por tonelada de grãos produzidos. De acordo com Dellamea et al. (2008), embora a soja apresente alta taxa de exportação de K, tem

baixa resposta as adições elevadas desse elemento.

Quando os teores no solo estão abaixo do teor denominado crítico, o principal objetivo de uma recomendação é ir construindo uma fertilidade no solo até alcançar a classe denominado “alto” onde as possibilidades de resposta são baixas (WENDLING et al., 2007). Uma vez que o teor no solo consiga alcançar a classe denominado “alto” o objetivo da recomendação será a de manter o teor no solo nessa classe, isto é, ficar sempre acima do teor crítico. Quando o teor no solo se encontra na classe denominado “muito alto” pode-se deixar de aplicar o mineral por um período de tempo determinado, ou fazer aplicações de pequenas doses, buscando economia e ou

a elevação do nível de fertilidade no solo de outro elemento (RIQUELME, 2008).

Quando os teores de K no solo estiverem acima do teor crítico, o modo de aplicação dos adubos pode ser feito tanto a lanço como na linha, pois os mesmos apresentam a mesma eficiência (WIETHOLTER et al., 1996; CERETTA et al., 2003; CARMONA et al., 2009).

Conclusões

O teor crítico de K no solo pelo método Mehlich⁻¹ é de 75 mg dm⁻³ para as

culturas de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai.

As classes de fertilidade de potássio no solo são “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, correspondendo respectivamente a menos de 25, de 26 a 50, de 51 a 75, de 76 a 150 e maior que 150 mg dm⁻³ de K no solo, determinado pelo método Mehlich⁻¹.

Para solos que se enquadram na classe de fertilidade “alto” a recomendação de K é de manutenção, 7,5 kg ha⁻¹ por tonelada de grãos de trigo e milho exportados e 25 kg ha⁻¹ por tonelada de soja exportada.

Referências

AQUINO, B. F. O uso de fertilizantes e corretivos agrícolas e os impactos sobre o ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Tec. Treina, 2009. p.10.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J. **Fertilidade dos Solos e Manejo da Adubação de Culturas**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344p.

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.565-571, 2005.

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.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; DIEKOW, J.; AITA, C.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; VENDRUSCULO, E. R. O. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no till succession to black oats. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, p.549-554, 2002.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.6, p.729-735, 2003.

CQFS-RS/SC - Comissão de química e fertilidade do solo RS/SC - **Manual de adubação e de calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/ Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2004. 400p.

CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; MIELNICZUK, J. Calibração visando à fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1463-1474, 2007.

DELLAMEA, R. B. C. **Eficiência da adubação a taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 2008. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

DIERINGS, W. C. **Recuperação do potássio adicionado em solos com diferentes teores e o efeito na disponibilidade às plantas**. 2008. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

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.

EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Embrapa Produção da Informação, 2006. 306p.

FATECHA, A. **Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la región oriental del Paraguay**. Caacupé: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999. 23p.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no Sistema plantio direto. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1549-1561, 2008.

KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F. RHEINHEIMER, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1003-1010, 2007.

KÖPPEN, W. **Grundriss der klimakende**. Berlin, Leipzig: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato. Instituto Internacional da Potassa, 1982. 80p. (Boletim Técnico, 2).

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. **Métodos de análise do Laboratório de Análise de solo** In: Recomendações de adubo e calcário para as principais culturas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969. 39p. (Boletim Técnico, 2).

RIQUELME, U. F. B. **Recomendações de fertilização fosfatada e potássica para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2008. 223 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

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.; 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, J. R. T.; MEURER, E. J. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Rio Grande do Sul em função da capacidade de troca de cátions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.137-142, 1998.

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. 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, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, M.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.985-994, 2007.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2297-2305, 2008.

WIETHOLTER, S. Uso dos teores de potássio e de argila do solo na recomendação de potássio para a cultura do trigo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1996, Lages. **Anais...** Lages: SBCS-NRS, 1996. p. 108-109.