



## Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado

Mateus A. de C. Rodrigues<sup>1</sup>, Salatiér Buzetti<sup>2</sup>, Marcelo C. M. Teixeira Filho<sup>3</sup>,  
Cássia M. P. Garcia<sup>4</sup> & Marcelo Andreotti<sup>5</sup>

<sup>1</sup> FEIS/UNESP, Ilha Solteira, SP. E-mail: mateusaugusto@outlook.com

<sup>2</sup> DEFERS/FEIS/UNESP, Ilha Solteira, SP. E-mail: sbuzetti@agr.feis.unesp.br

<sup>3</sup> DEFERS/FEIS/UNESP, Ilha Solteira, SP. E-mail: mcmt Teixeirafilho@agr.feis.unesp.br (Autor correspondente)

<sup>4</sup> FMVZ/UNESP, Botucatu, SP. E-mail: cassiampg@yahoo.com.br

<sup>5</sup> DEFERS/FEIS/UNESP, Ilha Solteira, SP. E-mail: dreotti@agr.feis.unesp.br

### Palavras-chave:

*Zea mays*  
adubação potássica  
fertilizante de liberação lenta  
componentes da produção  
produtividade de grãos

### RESUMO

A utilização de cloreto de potássio revestido pode proporcionar maior absorção deste elemento resultando na alteração dos teores foliares, dos componentes de produção e da produtividade. Neste contexto objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito de doses de potássio usando cloreto de potássio convencional e revestido por polímeros, na cultura do milho em condições de Cerrado de baixa altitude. O experimento foi conduzido em Selvíria, MS, num Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. Os tratamentos constaram de 4 doses de  $K_2O$  (0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas na sementeira, em duas fontes: KCl convencional e KCl revestido por polímeros. O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados constando de 8 tratamentos e 4 repetições. O KCl revestido não foi eficiente visto que proporcionou resultados semelhantes ao KCl convencional para o teor foliar de K, componentes de produção e produtividade de grãos de milho. O incremento das doses de  $K_2O$  influenciou positivamente os teores foliares de K e de clorofila, a altura da planta e de inserção da espiga e o número de fileiras e de grãos por espiga. A máxima produtividade de grãos de milho foi obtida com a aplicação de 83,5 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$ , em média.

### Key words:

*Zea mays*  
potassium fertilization  
slow release fertilizer  
crop components  
grain yield

### Fertilization with coated KCl in corn in the Savannah

#### ABSTRACT

The use of coated potassium chloride can provide greater absorption of potassium resulting in the alteration of leaf contents, production components and grain yield. The objective of this study was to evaluate the effect of potassium doses using potassium chloride conventional or coated by polymer, in the corn crop under conditions of Brazilian Savannah with low altitude. The experiment was conducted in Selvíria, MS, Brazil, in a clayey Oxisol. The treatments consisted of four doses of  $K_2O$  (0, 40, 80 and 120 kg ha<sup>-1</sup>), applied at sowing, and two sources: potassium chloride and potassium chloride coated by polymers. A randomized block design with eight treatments and four replications was used. The coated KCl is not efficient under the soil and climatic conditions studied, because it provided results similar to the conventional KCl for the K foliar content, crop components and grain yield of irrigated corn. The increment of  $K_2O$  doses influenced positively the K and chlorophyll leaf contents, plant and spike insertion height and the number of rows and grains per spike. The maximum mean yield obtained was with 83.5 kg ha<sup>-1</sup> of  $K_2O$ .

### INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) tem alto potencial de produção porém a produtividade média brasileira é baixa (3.620 kg ha<sup>-1</sup>), quando comparada à da China (5.560 kg ha<sup>-1</sup>) e Estados Unidos (9.660 kg ha<sup>-1</sup>) (Agriannual, 2011). As baixas produtividades decorrem do uso de práticas de manejo inadequadas e do pequeno investimento em insumos, realizado pelos agricultores (Argenta et al., 2001).

A fertilidade do solo é um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade das áreas destinadas à produção de milho; este fato não se deve apenas aos baixos teores de nutrientes nos solos mas também ao uso inadequado de calagem e adubações, principalmente com N e K (Coelho &

França, 2009). Dentre os fertilizantes potássicos o cloreto de potássio (KCl) é o mais utilizado no Brasil porém constam, na literatura, perdas por lixiviação de K na ordem de 50-70% (Wu & Liu, 2008).

O potássio exerce grande impacto na qualidade da cultura tendo influência positiva na massa individual de grãos e no número de grãos por espiga. Depois do N o K é o elemento absorvido em maiores quantidades pelo milho sendo que 30% são exportados nos grãos. No entanto, até pouco tempo as respostas ao K obtidas em ensaios de campo com o milho eram, em geral, menos frequentes e menores que aquelas constatadas para P e N devido principalmente aos baixos níveis de produtividades obtidos (Coelho et al., 2007). Contudo, a aplicação insuficiente de adubo potássico pode levar ao

esgotamento das reservas do solo e a aplicação excessiva pode intensificar as perdas por lixiviação mesmo em solos com média e alta capacidade de troca catiônica (Ernani et al., 2007). De acordo com Paglia et al. (2007), há aumento da concentração de  $K^+$  na solução lixiviada, na medida em que a quantidade de  $K_2O$  aplicado no solo aumenta. Portanto, o manejo correto da adubação potássica pode minimizar perdas e evitar o esgotamento de K do solo (Werle et al., 2008).

Neste contexto, Vieira & Teixeira (2004) mencionam que os fertilizantes revestidos por polímeros são mais eficientes quando comparados com fertilizantes convencionais pois fertilizantes com polímeros conferem menores perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização e fixação (Zahrani, 2000). Esta maior eficiência é proporcionada pela estrutura dos grânulos dos fertilizantes revestidos por polímeros, os quais, ao absorver água do solo, solubilizam os nutrientes no interior das cápsulas e são gradativamente liberados por meio da estrutura porosa na zona da raiz de acordo com a necessidade das plantas (Shaviv, 1999; Hanafi et al., 2000; Tomaszewska et al., 2002). Variáveis como a espessura e a natureza química da resina de recobrimento, a quantidade de microfissuras em sua superfície e o tamanho do grânulo do fertilizante determinam a taxa de liberação de nutrientes ao longo do tempo (Girardi & Mourão Filho, 2003).

Guareschi et al. (2011) constataram que a aplicação a lanço de KCl revestido por polímeros 15 dias antes da semeadura, proporcionou maior produção de massa seca, número de vagens por planta e produtividade de grãos de soja em relação ao KCl convencional. Apesar disto, quando aplicados na semeadura referidos fertilizantes proporcionaram produtividades de grãos e de massa seca de soja semelhantes. Valderrama et al. (2011) também não verificaram maior eficiência do KCl revestido quando comparado ao mesmo fertilizante convencional em adubação de semeadura, para produtividade de grãos de milho nas condições edafoclimáticas de Cerrado.

No Brasil ainda há poucas pesquisas com fertilizantes revestidos por polímeros, quando comparados com os dos países de clima temperado, o que torna necessária a condução de experimentos em condições edafoclimáticas brasileiras sobretudo em regiões como a do cerrado, por seu grande potencial para produção de grãos. Os resultados obtidos permitem estabelecer relações custo-benefício bem como quantificar a eficiência agrônômica da adubação validando, desta forma, o emprego desse tipo de fertilizante (Girardi & Mourão Filho, 2003).

Tendo como hipótese que a utilização de cloreto de potássio revestido proporciona maior absorção deste elemento por planta de milho resultando na alteração dos teores foliares, dos componentes de produção e da produtividade objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito de doses de potássio usando cloreto de potássio convencional ou revestido por polímeros, na cultura do milho em condições de Cerrado de baixa altitude.

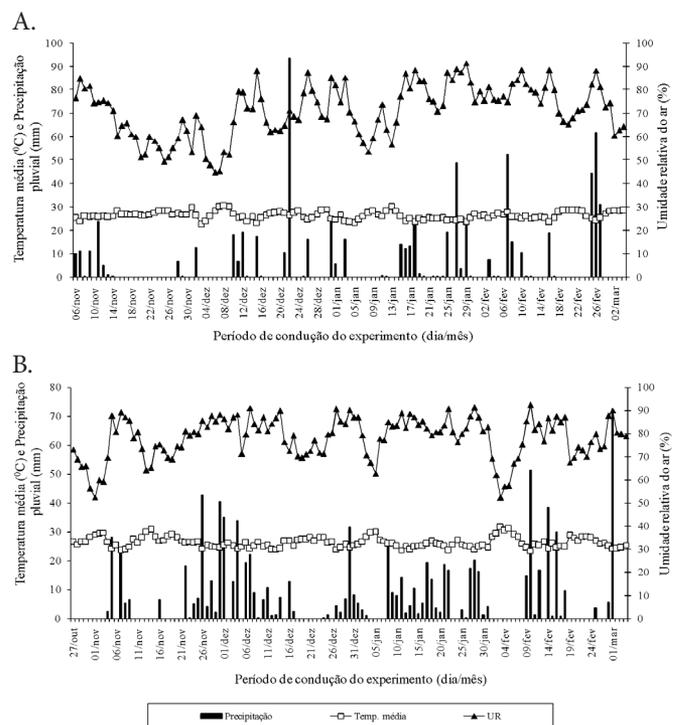
## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras 2008/09 e 2009/10, no município de Selvíria, MS, na altitude de 335 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, com valores de granulometria de 420, 50 e 530  $g\ kg^{-1}$  de areia, silte e argila, respectivamente. Este solo foi originalmente ocupado por vegetação de cerrado e cultivado com culturas anuais, mais de 26 anos. O clima da região é Aw, de acordo com Köppen, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os valores diários desses parâmetros durante a condução do experimento, estão apresentados na Figura 1.

Os atributos químicos do solo determinados antes da instalação do experimento, segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001) apresentaram os seguintes resultados: 32  $mg\ dm^{-3}$  de P (resina); 29  $g\ dm^{-3}$  de M.O.; 5,4 de pH ( $CaCl_2$ ); K, Ca, Mg, H + Al = 2,5; 30,0; 14,0 e 30,0  $mmol\ c\ dm^{-3}$ , respectivamente e 60% de saturação por bases.

Os tratamentos foram compostos por quatro doses de  $K_2O$  (0, 40, 80 e 120  $kg\ ha^{-1}$ ) aplicadas na semeadura e de duas fontes de potássio (KCl e KCl revestidas por polímeros). O delineamento estatístico foi o de blocos ao acaso em um esquema fatorial 4 x 2, com 4 repetições. As dimensões das parcelas foram de 5 m de comprimento com 4 linhas espaçadas 0,90 m. Consideraram-se, como área útil da parcela, as 2 linhas centrais excluindo-se 0,5 m das extremidades.

A implantação do experimento foi no sistema de semeadura direta (área com histórico de 8 anos no sistema) e a cultura



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica (mm), temperatura média ( $^{\circ}C$ ) e umidade relativa do ar (%) durante a condução do experimento com a cultura do milho, safra 2008/09 (A) e 2009/10 (B)

anterior foi o feijão, em ambos os cultivos. A área foi dessecada utilizando-se os herbicidas glifosato (1800 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e 2,4-D (670 g ha<sup>-1</sup> do i.a.). O híbrido simples AGROCERES AG 8088, de ciclo precoce, foi semeado, em média, com 5,4 sementes por metro (correspondendo a 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>) nos dois cultivos.

A semeadura foi realizada mecanicamente, nos dias 06/11/2008 e 27/10/2009; em seguida, a área foi irrigada por aspersão, por meio de pivô central com uma lâmina de água de aproximadamente 14 mm para promover a germinação das sementes; as plântulas emergiram 5 dias após a semeadura, em ambos os cultivos.

A adubação de semeadura foi realizada com 30 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia) e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples) igualmente para todos os tratamentos baseada na análise do solo e na tabela de recomendação de adubação para a cultura do milho irrigado para o Estado de São Paulo, conforme descrito em Cantarella et al. (1997). A adubação potássica foi diferenciada conforme os tratamentos descritos. Na adubação nitrogenada de cobertura foram aplicados 80 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia), nas entrelinhas das parcelas, quando as plantas estavam com 6 folhas totalmente desdobradas; após a adubação nitrogenada a área foi irrigada por aspersão com uma lâmina de água de aproximadamente 14 mm para minimizar as perdas de N por volatilização da amônia; as irrigações durante o desenvolvimento da cultura foram realizadas de forma suplementar, ou seja, quando conveniente, com base na evapotranspiração da cultura (ETc) (Albuquerque & Andrade, 2001), por meio de um sistema pivô central em turnos e quantidades de água de acordo com os estádios fenológicos e necessidade hídrica da cultura, que foi conduzida no período das chuvas na região.

O manejo de plantas daninhas foi efetuado com a aplicação do herbicida tembotriona (84 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e atrazina (1000 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), mais a adição de um adjuvante na calda herbicida, o óleo vegetal (720 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) em pós-emergência. O controle de insetos foi realizado com metomil (215 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e triflumurom (24 g ha<sup>-1</sup> do i.a.).

A colheita do milho foi realizada manual e individualmente por unidade experimental, em 2009 aos 118 dias e em 2010 aos 128 dias, após a emergência das plantas, quando 90% das espigas

estavam com os grãos com 20% de umidade; o material colhido foi submetido à secagem a pleno sol e posteriormente trilhado.

Foram realizadas as seguintes avaliações: a) teor de potássio foliar, coletando-se o terço médio de 20 folhas da inserção da espiga principal, no florescimento feminino das plantas de cada parcela, segundo a metodologia descrita em Cantarella et al. (1997); b) teor de clorofila foliar, determinado indiretamente na folha da inserção da espiga de 5 plantas de milho por parcela quando as plantas estavam no estágio de florescimento da cultura através de leituras ICF, com auxílio de um clorofilômetro digital CFL 1030 Falker c) diâmetro basal do colmo; d) altura de inserção da espiga; e) altura de plantas na maturação, definida como sendo a distância (m) do nível do solo ao ápice do pendão; f) número de grãos por fileira; g) número de grãos por espiga; h) número de plantas por hectare; i) massa de 100 grãos, determinada em balança de precisão 0,01 g e j) produtividade de grãos, determinada pela coleta das plantas contidas nas 2 linhas centrais de cada parcela. Após a trilha mecânica os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha<sup>-1</sup> a 13% (base úmida).

Todos os parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância por meio do programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos - SISVAR (Ferreira, 2008). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e as doses ajustadas usando-se modelos de regressão polinomial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de K não diferiram significativamente quanto ao teor de K foliar (Tabela 1) indicando, assim, que o KCl revestido não proporcionou maior absorção desse nutriente pelas plantas em relação ao KCl convencional. Este resultado foi semelhante ao encontrado por Valderrama et al. (2011) para os mesmos fertilizantes na cultura do milho porém discordante do obtido por Guareschi et al. (2011), no qual o KCl revestido por polímeros propiciou melhor nutrição da planta quando o fertilizante foi aplicado antecipadamente, num Latossolo Vermelho Distroférico com baixo teor de K proporcionando,

**Tabela 1.** Teores foliares de K e de clorofila (ICF), diâmetro basal do colmo, altura de inserção de espiga e altura de plantas de milho, afetados por fontes e doses de K<sub>2</sub>O\*

Tratamentos	Teor de K foliar (g kg <sup>-1</sup> de MS)		Teor de clorofila (ICF)		Diâmetro do colmo (mm)		Altura de inserção da espiga (m)		Altura de plantas (m)	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Fontes de K										
KCl	27,68 a	24,31 a	75,00 a	59,56 a	19,52 a	20,07 a	0,89 a	1,25 a	2,56 a	2,41 a
KCl revestido	28,34 a	24,47 a	75,01 a	59,52 a	19,65 a	20,28 a	0,90 a	1,16 b	2,58 a	2,43 a
DMS (5%)	0,95	0,61	3,57	1,86	0,97	0,61	0,04	0,09	0,05	0,07
Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )										
0	26,38 <sup>(1)</sup>	23,88	71,73 <sup>(2)</sup>	59,99	19,11	20,02	0,85	1,12 <sup>(3)</sup>	2,48 <sup>(4)</sup>	2,39
40	28,00	24,44	74,68	58,98	20,04	20,55	0,90	1,20	2,62	2,44
80	28,63	24,81	74,77	58,94	19,32	19,98	0,92	1,22	2,56	2,39
120	29,04	24,44	78,84	60,23	19,86	20,14	0,89	1,23	2,61	2,44
Média geral	28,01	24,39	75,01	59,54	19,59	20,17	0,89	1,19	2,57	2,42
CV (%)	4,62	3,43	6,47	4,24	6,70	4,10	6,35	5,22	2,54	4,00

\* Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

<sup>(1)</sup> Y = 26,7175 + 0,0215 X (R<sup>2</sup> = 0,90\*\*); <sup>(2)</sup> Y = 71,7953 + 0,0535 X (R<sup>2</sup> = 0,90\*\*); <sup>(3)</sup> Y = 1,1258 + 0,0021 X - 0,00001 X<sup>2</sup> (R<sup>2</sup> = 0,97\*\* e PM = 105 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); <sup>(4)</sup> Y = 2,51780 + 0,0009 X (R<sup>2</sup> = 0,49\*)

então, maior produtividade de grãos de soja em relação ao KCl convencional, provavelmente pela menor perda por lixiviação de K; contudo, nesta avaliação o KCl revestido não foi efetivo no que se refere à maior disponibilidade do potássio em virtude do teor inicial médio ( $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) deste nutriente no solo; além disto foi constatado, ao final dos cultivos de milho em 2009 e 2010, na linha de semeadura, profundidade de 0,0-0,20 m, que os teores de K continuavam medianos ( $2,8$  e  $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente); com isto, os teores de K na folha ficaram dentro da faixa adequada ( $17$  a  $35 \text{ g kg}^{-1}$  de K na matéria seca) para a cultura do milho em relação ao descrito por Cantarella et al. (1997). Quanto ao teor de clorofila (ICF) também não ocorreram diferenças entre as fontes utilizadas (Tabela 1).

O incremento das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  proporcionou, em 2008/09, aumento do teor de clorofila e do teor de K foliar, com ajuste nas equações de regressão linear positivas (Tabela 1). Esta elevação no teor de clorofila pode ser explicada de vez que os cloroplastos contêm cerca de metade do K foliar, nutriente que promove maior difusividade do  $\text{CO}_2$  nas células do mesófilo contribuindo, sem dúvida, para maior atividade fotossintética (Prado, 2008). Contudo, em 2009/10 não houve resposta para os teores de K e clorofila ao aumento das doses de  $\text{K}_2\text{O}$ , em função do maior número de plantas por hectare, em média 1811 plantas superiores ao cultivo anterior, o que explica a não resposta dessas avaliações à adubação potássica (Tabela 2) comprovado pela redução do teor de K na planta tal como do teor de clorofila do milho no segundo cultivo (Tabela 1).

Para o diâmetro basal do colmo e altura de inserção da espiga não houve efeito significativo para as fontes nem para doses de potássio em 2008/09 (Tabela 1). Observou-se, no entanto, que em 2009/10 a fonte convencional proporcionou maior altura de inserção da espiga em relação ao cloreto de potássio revestido; a altura de inserção da espiga de milho foi influenciada positivamente pelas doses de  $\text{K}_2\text{O}$ , em 2010, ajustando-se à função quadrática com a máxima altura sendo alcançada com a estimativa de aplicação de  $105 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , independente da fonte utilizada de K; já para a altura de plantas (Tabela 1), as fontes de K não diferiram significativamente,

em ambos os anos avaliados. Observa-se ainda, na Tabela 1, que em 2009 ocorreu ajuste na equação linear e, sendo assim, o incremento das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  proporcionou aumento da altura de plantas de milho. Este aumento se deve ao fato do K ser ativador de mais de 60 enzimas na planta sendo muito importante na expansão do volume celular e no transporte de íons até as células meristemáticas (Wallingford, 1980).

As fontes de K não diferiram significativamente para o número de plantas por hectare, número de grãos por fileiras, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de milho (Tabela 2). Entretanto se constatou, em 2009, diferença significativa para o número de grãos por espiga e o KCl revestido propiciou maiores valores quando comparado ao KCl convencional. Uma provável explicação seria que na primeira safra, quando comparada com a segunda, houve menor precipitação pluvial total e média porém ocorreram chuvas isoladas com maior volume de água (Figura 1); assim, o K proveniente do KCl convencional pode ter sido um pouco mais lixiviado porém se ressalta que este fato não refletiu em diferença significativa entre as fontes de K para produtividade de grãos mas explica o motivo pelo qual a produtividade de milho foi um pouco inferior quando se adubou com KCl convencional, em 2009 (Tabela 2).

O KCl revestido proporcionou produtividade de grãos de milho semelhante à proporcionada pelo KCl (Tabela 2). Valderrama et al. (2011) também verificaram que os fertilizantes revestidos por polímeros (ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), isoladamente, tiveram a mesma eficiência quando comparados aos mesmos fertilizantes convencionais para produtividade de grãos de milho nas condições edafoclimáticas de Cerrado. Entretanto, Guareschi et al. (2011) constataram, com a aplicação a lanço de KCl revestido por polímeros, 15 dias antes da semeadura, maior produção de massa seca, número de vagens por planta e produtividade de grãos de soja em relação ao KCl convencional, em sistema plantio direto num Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa, com teor de K de  $9,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , em Rio Verde, GO.

Luchese et al. (2011) constataram, avaliando a aplicação em cobertura de KCl convencional e de três tipos KCl encapsulados

**Tabela 2.** Número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, número de plantas por hectare, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de milho, afetados por fontes e doses de  $\text{K}_2\text{O}^*$

Tratamentos	Número de grãos por fileira		Número de grãos por espiga		Número de plantas por hectare		Masse de 100 grãos (g)		Produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Fontes de K										
KCl	31,2 a	34,1 a	548,4 b	552,5 a	55066 a	57292 a	31,68 a	32,21 a	7969 a	8071 a
KCl revestido	32,2 a	33,8 a	568,1 a	545,7 a	55144 a	56528 a	32,20 a	32,61 a	8258 a	8172 a
DMS (5%)	1,6	1,5	18,1	38,2	4500	2528	1,15	0,87	319	580
Doses de $\text{K}_2\text{O}$ ( $\text{kg ha}^{-1}$ )										
0	30,0	32,50 <sup>(1)</sup>	526,50 <sup>(2)</sup>	540,3	54388	56944	31,84	31,61	6671 <sup>(3)</sup>	7050 <sup>(4)</sup>
40	31,9	36,10	566,10	576,3	55255	57917	31,40	32,61	8325	8226
80	31,9	33,60	573,10	543,3	56499	57500	31,94	32,82	8824	8550
120	33,0	33,60	567,10	536,5	54277	55278	32,59	32,61	8634	8459
Média geral	31,7	34,00	558,20	549,1	55099	56910	31,94	32,41	8113	8122
CV (%)	6,76	5,92	4,41	9,47	11,10	6,04	4,90	3,65	5,36	9,71

\* Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade  
<sup>(1)</sup>  $Y = 32,9312 + 0,0701 X - 0,0005 X^2$  ( $R^2 = 0,47^*$  e  $PM = 62 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ); <sup>(2)</sup>  $Y = 527,4813 + 1,777 X - 0,0071 X^2$  ( $R^2 = 0,99^{**}$  e  $PM = 83 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ); <sup>(3)</sup>  $Y = 6694,3563 + 50,5589 X - 0,2882 X^2$  ( $R^2 = 0,99^{**}$  e  $PM = 88 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ); <sup>(4)</sup>  $Y = 7087,5938 + 41,8179 X - 0,2634 X^2$  ( $R^2 = 0,98^{**}$  e  $PM = 79 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ )

na cultura da soja, em Chapadão do Sul - MS, maior eficiência da adubação potássica em solos com textura arenosa, com uso de KCl revestido por polímero. Segundo Shaviv (1999), o melhor desempenho das plantas quando há aplicação desses fertilizantes se deve ao fornecimento regular e contínuo de nutrientes às plantas e à redução de perdas de potássio por lixiviação.

Para Vieira & Teixeira (2004), as respostas dos adubos peletizados dependem da ação microbiana; os quimicamente alterados irão converter parte dos nutrientes em formas insolúveis a serem disponibilizadas às plantas gradativamente; por fim, os recobertos ou encapsulados consistem em compostos solúveis envoltos por uma resina permeável à água que irá regular o processo de fornecimento dos nutrientes; a liberação dependerá da temperatura e da umidade do solo. Além disto, a espessura e a natureza química da resina de recobrimento, a quantidade de microfissuras em sua superfície e o tamanho do grânulo do fertilizante, determinam a taxa de liberação de nutrientes ao longo do tempo (Girardi & Mourão Filho, 2003).

O tipo de polímero utilizado no KCl não foi eficiente na liberação gradativa de K devido, provavelmente, às condições edafoclimáticas da região, elevadas temperaturas (Figura 1) e solos muito argilosos, que retêm umidade podendo ter favorecido a rápida degradação do polímero de revestimento. Portanto, ainda há necessidade de novas pesquisas para o desenvolvimento de novos polímeros para o revestimento do KCl, os quais possam resistir às altas temperaturas do solo, comuns nesta região do Cerrado de baixa altitude.

Com relação às doses de  $K_2O$  constatou-se, em 2008/09, efeito significativo para o número de grãos por espiga, que se ajustou à função quadrática com o ponto de máximo sendo alcançado com a estimativa de aplicação de  $83 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , independente da fonte de K (Tabela 2); já o número de grãos por fileira, em 2010, se ajustou à função quadrática com o máximo sendo alcançado com a estimativa de  $62 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  independente da fonte de K. O número de plantas por hectare e a massa de 100 grãos de milho não foram influenciados pelo incremento das doses de  $K_2O$ , tanto em 2008/09 como em 2009/10. Deparis et al. (2007) não verificaram efeito significativo das doses de potássio (3; 7,5; 15; 30; 45; 52,5 e 57  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ) nos componentes de produção citados acima. Por outro lado, Valderrama et al. (2011) relataram aumento linear do número de fileiras por espiga, de grãos por fileira e de grãos por espiga com o aumento das doses de potássio. Já Büll (1993) observou que o potássio tem impacto na qualidade da cultura e na influência positiva sobre a massa individual de grãos e número de grãos por espiga. Tais diferenças verificadas na literatura para os componentes de produção se devem aos diversos híbridos utilizados tal como às condições do solo e clima.

A produtividade de grãos de milho foi, em 2008/09, influenciada positivamente pelas doses de  $K_2O$  ajustando-se à função quadrática com a máxima produtividade sendo alcançada com a estimativa de aplicação de  $88 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  (Tabela 2). O

mesmo ocorreu em 2010 com o ponto de máxima produtividade de grãos sendo alcançada com a estimativa de  $79 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , independente da fonte utilizada em ambos os cultivos. Referidos resultados estão um pouco acima da dose recomendada ( $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ) por Cantarella et al. (1997), considerando um teor médio de potássio no solo e uma expectativa de produtividade de grãos de 8 a  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , como no presente estudo. Esta menor dose de  $K_2O$  para obtenção da máxima produtividade de grãos no segundo ano de cultivo, pode ser explicada pelo incremento da retenção de K no solo verificado após os cultivos de milho em 2009 e 2010, na profundidade de 0,0-0,20 m ( $2,8$  e  $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente), oriundos da adoção do sistema plantio direto (área com oito anos neste sistema), embora sejam valores próximos. Bayer & Mielniczuk (1997) verificaram, no transcorrer de cinco anos de cultivo que, devido à adoção do sistema plantio direto, ocorreram incrementos nos teores de C orgânico e na CTC do solo, com reflexos na maior retenção de cátions básicos como o K.

Resposta positiva à adubação potássica também foi observada por Andreotti et al. (2001), em trabalho realizado em casa de vegetação em vaso, em condições controladas para máxima exploração do sistema radicular das plantas sendo constatado que o desenvolvimento e a produção de grãos do milho aumentaram até a adição de  $60 \text{ mg kg}^{-1}$  de K ao solo; entretanto, mesmo que ocorra, em vaso, a lixiviação do K em função da total desestruturação do solo, a disponibilidade de água permitirá o melhor desenvolvimento das raízes e melhor extração do K que em condições de campo. Segundo Stromberger et al. (1994), esta resposta positiva se deve ao fato do K influenciar diretamente o crescimento celular pela ativação enzimática no transporte de N e, portanto, ser de fundamental importância na formação de tecidos vegetais. Por outro lado, Wendling et al. (2008) observaram que a resposta da cultura do milho em plantio direto à adubação potássica foi muito baixa ou não existiu na maioria dos locais e safras, em cinco dos sete experimentos conduzidos no Paraguai, em razão dos altos teores de K encontrados no solo.

Em revisão elaborada por Brunetto et al. (2005), as respostas de inúmeras culturas agrícolas à adubação potássica foram baixas quando os teores de K trocável na camada arável (0 a 20 cm de profundidade) dos solos foram maiores que  $1,5$  a  $2,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , principalmente em condições de manejo que favoreceram o incremento de K, como no sistema plantio direto, por exemplo, e/ou em solos com elevada concentração de minerais primários e secundários ricos em K. Neste contexto, Pavinato et al. (2008) constataram que a produtividade de grãos de milho não foi afetada pela aplicação de potássio (0, 40, 80 e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ), na forma de cloreto de potássio, em virtude dos altos teores disponíveis de K no solo, embora a adubação potássica seja indispensável para evitar o esgotamento do elemento no solo. No presente estudo a resposta às doses de potássio se deve à alta exigência do híbrido simples de milho AGROCERES AG 8088 já que o teor inicial de K estava no nível médio de disponibilidade ( $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

## CONCLUSÕES

1. O KCl revestido não foi eficiente em solo de textura argilosa nas condições climáticas de Cerrado de baixa altitude, pois proporcionou resultados semelhantes ao KCl convencional para os teores foliares de K, componentes de produção e produtividade de grãos de milho.

2. O incremento das doses de  $K_2O$  proporcionou aumento dos teores foliares de K e de clorofila e da altura de plantas, além de influenciar positivamente a altura de inserção da espiga e o número de fileiras e de grãos por espiga.

3. A máxima produtividade de grãos de milho foi obtida com a aplicação de  $83,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , em média, independentemente da fonte utilizada de K.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão de bolsa de iniciação científica do primeiro autor e pelo apoio financeiro à pesquisa (Processo: 2009/00097-9).

## LITERATURA CITADA

Albuquerque, P. E. P.; Andrade, C. L. T. Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14p. Circular Técnica, 10  
 Agrianual: Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Agors, 2011. 482p.  
 Andreotti M.; Rodrigues, J. D.; Crusciol C. A. C.; Souza, E. C. A.; Büll, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. *Scientia Agricola*, v.58, p.145-150, 2001.  
 Argenta, G.; Silva, P. R. F. da; Sangoi, L. Arranjo de plantas em milho: Análise do estado-da-arte. *Ciência Rural*, v.31, p.1075-1084, 2001.  
 Bayer, C.; Mielniczuk, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.105-112, 1997.  
 Brunetto, G.; Gatiboni, L. C.; Santos, D. R.; Saggini, A.; Kaminski, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.561-571, 2005.  
 Büll, L. T. Nutrição mineral do milho. In: Büll, L. T.; Cantarella, H. (ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 1993. p.63-145.  
 Cantarella, H.; Raij, B. van; Camargo, C. E. O. Cereais. In: Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. *Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC, 1997. 285p. Boletim Técnico, 100.  
 Coelho, A. M.; França, G. E. Nutrição e adubação do milho. Brasília: Embrapa CNPMS. 2009. <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>>. 03 Mar. 2011.

Coelho, A. M.; França, G. E.; Pitta, G. V. E.; Alves, V. M. C.; Hernani, L. C. *Sistemas de produção, 1: Cultivo do milho*. Brasília: Embrapa CNPMS. 2007. s/p.  
 Deparis, G. A.; Lana, M. C.; Frandoloso, J. F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.29, p.517-525, 2007.  
 Ernani, P. R.; Bayer, C.; Almeida, J. A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.393-402, 2007.  
 Ferreira, D. F. Sisvar: Um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v.6, p.36-41, 2008.  
 Girardi, E. A.; Mourão Filho, F. A. A. Emprego de fertilizantes de liberação lenta na formação de pomares de citros. *Revista Laranja*, v.24, p.507-518, 2003.  
 Guareschi, R. F.; Gazolla, P. R.; Perin, A.; Santini, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.643-648, 2011.  
 Hanafi, M. M.; Eltaib, S. M.; Ahmad, M. B. Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertilizer. *European Polymer Journal*, v.36, p.2081-2088, 2000.  
 Luchese, K. U. de O.; Leal, A. J. F.; Kaneko, F. H.; Valderrama, M.; Severino, U. A. Resposta da cultura da soja a doses de cloreto de potássio, revestido ou não com polímeros. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 33, 2011, Uberlândia. Anais... Viçosa: SBCS, 2011. CD-Rom  
 Paglia, E. C.; Serrat, B. M.; Freire, C. A. de L.; Veiga, A. M.; Borsatto, R. S. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.94-100, 2007.  
 Pavinato, P. S.; Ceretta, C. A.; Giroto, E.; Moreira, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. *Ciência Rural*, v.38, p.358-364, 2008.  
 Prado, R. M. *Nutrição de plantas*. São Paulo: UNESP, 2008. 407p.  
 Raij, B. van.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: IAC, 2001. 285p.  
 Shaviv, A. Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: agronomic efficiency and environmental significance. *Proceedings of the Fertiliser Society*, v.41, p.1-35, 1999.  
 Stromberger, J. A.; Tsai, C. Y.; Huber, D. M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. *Journal of Plant Nutrition*, v.17, p.19-37, 1994.  
 Tomaszewska, M.; Jarpoewicz, A.; Karakulski, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. *Desalination*, v.146, p.319-323, 2002.  
 Valderrama, M.; Buzetti, S.; Benett, C. G. S.; Andreotti, M.; Teixeira Filho, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, p.254-263, 2011.

- Vieira, B. A. R. M.; Teixeira, M. M. Adubação de liberação controlada chega como solução. *Revista Campo & Negócios*, v.41, p.4-8, 2004.
- Wallingford, W. Functions of potassium in plant. In: *Potassium for agriculture*. Atlanta: Potash & Phosphate Institute, 1980. p.10-27.
- Wendling, A.; Eltz, F. L. F.; Cubilla, M. M.; Amado, T. J. C.; Mielniczuk, J. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1929-1939, 2008.
- 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*, v.32, p.2297-2305, 2008.
- Wu, L.; Liu, M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate Polymers*, v.72, p.240-247, 2008.
- Zahrani, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v.39, p.367-371, 2000.