

# Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho

Gelavir Antonio Deparis<sup>1</sup>, Maria do Carmo Lana<sup>2</sup> e Jucenei Fernando Frandoloso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. <sup>2</sup>Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. <sup>3</sup>Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: gdeparis@bol.com.br

**RESUMO.** Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da redução de espaçamento entrelinhas e da adubação nitrogenada e potássica em cobertura, na eficiência de absorção de nutrientes, no rendimento de grãos, componentes da produção e outras características agronômicas de híbrido simples de milho. O experimento foi instalado em Cascavel, Estado do Paraná, no ano agrícola de 2004/05. Foram estudados três espaçamentos entrelinhas (0,45; 0,67 e 0,90 m), com uma população de 55000 plantas ha<sup>-1</sup>. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema de parcela subdividida. Utilizaram-se 13 combinações de sete doses de nitrogênio (8; 20; 40; 80; 120; 140 e 152 kg ha<sup>-1</sup> de N) com sete doses de potássio (3; 7,5; 15; 30; 45; 52,5 e 57 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), totalizando 39 tratamentos. A redução do espaçamento entrelinhas de 0,90 m para 0,45 m mantendo a mesma população por área proporcionou aumento da produção de biomassa seca total e, também, maior eficiência na absorção de nitrogênio e potássio e maior eficiência no uso de N e K no grão. A produtividade de grãos foi estatisticamente igual nos três espaçamentos estudados. Verificou-se aumento linear na produtividade e da produção de biomassa seca da parte aérea até a dose de 152 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. A adubação com potássio proporcionou aumento da produção de biomassa seca da parte aérea, mas não influenciou na produtividade. Doses acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O resultaram em menor eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados e potássicos.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., arranjo de plantas, nitrogênio, potássio.

**ABSTRACT. Row spacing and nitrogen and potassium fertilization in covering for the corn culture.** This work had the objective of evaluate the effect of row spacing reduction and nitrogen and potassium fertilization in covering, in the efficiency of absorption of nutrients, in the grain yield and components of the production and other agronomic traits of maize single-cross hybrid. The experiment was installed in Cascavel, State of Paraná, in the agricultural year of 2004/05. It was studied three row spacings (0.45; 0.67 and 0.90m), with a population of 55000 plants ha<sup>-1</sup>. The experiment design used was that of randomized blocks with four repetitions, in a split plot scheme. It was used 13 combinations of seven nitrogen doses (8; 20; 40; 80; 120; 140 e 152 kg ha<sup>-1</sup> of N) with seven potassium doses (3; 7.5; 15; 30; 45; 52.5 e 57 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O), adding 39 treatments. The reduction of interlineations spacing of 0.90 m to 0.45 m maintaining the same population in each area caused the increase of whole dry biomass production, more efficiency in the nitrogen and potassium absorption and also more efficiency in using N and K in the grain. The grain productivity was statistically the same in the three spacings studied. It was verified a linear increase in the productivity and of the dry biomass production in the aerial part until the doses of 152 kg ha<sup>-1</sup> of N in covering. The fertilization with potassium proportioned an increase of dry biomass production in the aerial part, but does not influenced in the productivity. Over 80 kg ha<sup>-1</sup> doses of N and 30 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O resulted in a smaller efficiency in using nitrogen and potassium fertilization.

**Key words:** *Zea mays* L., plants arrangement, nitrogen, potassium.

## Introdução

O melhor arranjo das plantas é aquele que proporciona uma distribuição mais uniforme na linha de semeadura, possibilitando melhor utilização

da luz, da água e dos nutrientes. As plantas podem ser distribuídas de várias formas, sendo que as variações na distância entre elas na linha e nas entrelinhas determinam os diferentes arranjos na

lavoura (Argenta *et al.*, 2001b). Menores espaçamentos entrelinhas permitem melhor distribuição espacial das plantas, aumentando a eficiência da interceptação da luz e ao decréscimo de competição entre plantas de milho por luz, água e nutrientes, em virtude da distribuição mais equidistante das plantas, resultando, muitas vezes, em incremento de produtividade (Argenta *et al.*, 2001a).

A necessidade nutricional das plantas é um aspecto a ser considerado na escolha do arranjo de plantas em milho, pois a cultura é muito exigente em fertilidade do solo (Argenta *et al.*, 2001b). A redução do espaçamento entrelinhas, mantendo-se a mesma população de plantas, pode diminuir a competição entre plantas por água (Argenta *et al.*, 2001b) e, devido à distribuição mais equidistante das plantas na linha, pode alterar os índices de eficiência de absorção e de utilização dos nutrientes.

O milho é uma cultura que extrai grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas. O potássio tem impacto na qualidade da cultura e influência positiva sobre o peso individual de grãos e número de grãos por espiga (Büll, 1993). O balanço N:K é importante desde os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, e exerce influência sobre o acamamento, sendo que altos teores de nitrogênio com baixos teores de potássio favorecem o acamamento (Büll, 1993).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da redução de espaçamento entrelinhas e da adubação nitrogenada e potássica em cobertura, na eficiência de absorção de nutrientes, na produtividade e componentes da produção na cultura do milho.

## Material e métodos

O experimento foi instalado no município de Cascavel, Estado do Paraná, sob as coordenadas: longitude 53°28'30"NW e latitude 24°57'30"NS, com altitude média de 760 m, média anual de chuvas de 2500 mm, temperaturas médias variando de 15 a 28°C.

O solo da área onde foi instalado o experimento é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (Embrapa, 1999). Os resultados da análise química e granulométrica do solo encontram-se na Tabela 1.

O sistema de cultivo foi plantio direto, sob a cultura de aveia preta plantada anteriormente. Para operacionalização do experimento, foram abertos sulcos com semeadora acoplada ao trator com profundidade aproximada de 5 cm a 8 cm, utilizando

como adubação de base 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, fornecido pelo superfosfato triplo e 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, como sulfato de amônio.

**Tabela 1.** Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho eutrófico nas profundidades 0 – 10 e 10 – 20 cm.

Prof cm	pH	MO <sup>(5)</sup> g dm <sup>-3</sup>	Al <sup>(2)</sup>	H+Al	K <sup>(1)</sup>	Ca <sup>(2)</sup>	Mg <sup>(2)</sup>	CTC	P <sup>(1)</sup>	S <sup>(4)</sup>
	CaCl <sub>2</sub>				cmol, dm <sup>-3</sup>				mg dm <sup>-3</sup>	
0-10	5,3	34,66	0,00	5,35	0,37	5,40	2,70	13,82	8,57	12,5
10-20	5,3	37,56	0,00	5,35	0,35	6,46	3,60	15,76	6,26	-
Prof cm	Fe <sup>(1)</sup>	Mn <sup>(1)</sup>	Cu <sup>(1)</sup>	Zn <sup>(1)</sup>	B <sup>(3)</sup>	V	Areia	Silte	Argila	
	mg dm <sup>-3</sup>					%	g kg <sup>-1</sup>			
0-10	58,07	175,99	5,99	7,13	0,19	74,25	84,0	272,5	643,5	
10-20	32,01	167,06	4,44	5,12	-	68,36				

<sup>(1)</sup>Extrator Mehlich-1; <sup>(2)</sup>Extrator KCl; <sup>(3)</sup>Extrator BaCl<sub>2</sub> 0,005 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(4)</sup>Extrator Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> em HOAC 2 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(5)</sup>Método Walkley-Black.

O híbrido utilizado foi o Penta, cujas características são: híbrido simples, ciclo precoce e de porte médio. A semeadura do milho foi realizada, utilizando-se semeadora manual (matraca), colocando-se três a quatro sementes por cova.

Após a emergência da cultura, quando as plantas de milho estavam com duas a quatro folhas expandidas, fez-se o desbaste ajustando o número de plantas à densidade estabelecida de 55000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Os adubos nitrogenados e potássicos foram aplicados em cobertura à lanço quando as plantas estavam no estágio de 6 a 8 folhas totalmente desenvolvidas, aproximadamente no ponto de diferenciação do pendão floral. Foram utilizadas as fontes, sulfato de amônio e cloreto de potássio.

As parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas de semeadura de seis metros de comprimento, espaçadas de 0,45; 0,67 e 0,90 m entrelinhas. A área útil para as avaliações foi constituída das duas linhas centrais excluindo 0,50 m em cada extremidade.

O delineamento experimental consistiu de blocos ao acaso, dispostos em parcela subdividida. Os tratamentos envolvendo adubação nitrogenada e potássica foram arranjados de acordo com a matriz experimental "Box Berard aumentada (3)" de acordo com Leite (1984), obtendo 13 arranjos de adubação apresentados na Tabela 2. Estes tratamentos foram alocados na subparcela e na parcela principal foram alocados os espaçamentos totalizando 39 tratamentos.

Quando do aparecimento da inflorescência feminina, onde foram coletadas ao acaso, a primeira folha oposta abaixo da espiga, de 10 plantas da área útil, segundo metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). As folhas foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada à 65°C por 72 horas, sendo posteriormente moídas e homogeneizadas.

**Tabela 2.** Combinações de adubação nitrogenada e potássica de acordo com a matriz "Box Berard aumentada (3)".

Arranjo de adubação	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )	
	N	K <sub>2</sub> O
1	40	15
2	40	45
3	120	15
4	120	45
5	20	30
6	140	30
7	80	7,5
8	80	52,5
9	8	15
10	40	3
11	152	45
12	120	57
13	80	30

Após 97 dias da semeadura foram avaliadas as seguintes variáveis biométricas: altura de planta, altura de inserção da primeira espiga e produção de biomassa seca total. Para avaliação da biomassa seca foram coletadas 10 plantas, aleatoriamente, de três parcelas para cada espaçamento totalizando nove parcelas amostradas. As plantas foram cortadas rente ao solo (folhas, colmos, palhas da espiga, exceto os grãos e sabugos). O material foi levado para secar em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas e então pesadas para determinação do teor de umidade, em seguida, obteve-se a média das três parcelas. Para o espaçamento de 0,45 m, o teor de umidade residual foi 6,37%; 13,34% para o espaçamento 0,67 m e de 28,54% para o espaçamento 0,90 m. Em cada parcela experimental foi pesada a parte aérea das plantas, com exceção de grãos e sabugos, efetuando-se a correção da umidade residual de acordo com os valores acima obtendo-se a produção de biomassa seca por parcela, extrapolando em seguida para kg ha<sup>-1</sup>. Para o cálculo da biomassa seca total foi considerado também o peso seco dos grãos e peso seco dos sabugos, corrigidos de acordo com o teor de umidade dos grãos.

A colheita do milho foi realizada manualmente, sendo os grãos processados em trilhadeira estacionária. A avaliação da produtividade de cada área útil das parcelas foi realizada por meio da pesagem dos grãos em balança semi-analítica, corrigindo-se para umidade de 13% base úmida e, posteriormente, estimando-se a produtividade em kg ha<sup>-1</sup>.

Após a colheita foram avaliados os seguintes componentes da produção: massa de 100 grãos, massa de grão por espiga e número de fileiras por espiga. Foi avaliado também o número de plantas acamadas e quebradas nas duas linhas centrais de cada parcela.

Amostras de 0,2 g de tecido foliar e de grãos, secos e moídos, foram submetidos à digestão sulfúrica. Nos extratos, o teor de K foi determinado por fotometria de chama, e o teor de N foi

determinado por arraste de vapores, em aparelho semi-micro- Kjeldahl, de acordo com Tedesco *et al.* (1995) e o teor de P por espectrofotometria UV-VIS de acordo com Braga e Defelipo (1974).

Após o cultivo foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm. Para compor uma amostra composta, foram coletadas seis amostras simples em cada parcela e a cada profundidade sendo três amostras retiradas na linha e três na entrelinha. As amostras foram colocadas em estufa para secagem à aproximadamente 60°C por um período de 36 horas.

O solo foi triturado em moinho tipo martelo e passado em peneira de 2 mm. Nestas amostras foram analisados os teores de P e K, extraídos pelo extrator Mehlich-1. Nos extratos os teores de K serão determinados por fotometria de chama e P por espectrofotometria UV-VIS de acordo com metodologia de Braga e Defelipo (1974).

Foram calculadas as eficiências de uso dos nutrientes nitrogênio e potássio, de acordo com índices propostos por Moll *et al.* (1982) e Siddiqi e Glass (1981):

a) Eficiência de uso do nutriente total: (EUN) = quantidade de produto colhido (Y) por unidade de nutriente acumulado na parte aérea total (Nab).

$$EUN = Y/Nab = (\text{kg kg}^{-1});$$

b) Eficiência de uso do nutriente no grão (EUNg) = produção de grãos (Y) em relação a quantidade de nutriente nos grãos (QNg).

$$EUNg = Y/QNg = (\text{kg kg}^{-1});$$

c) Eficiência de absorção (EA) = nutriente acumulado na parte aérea total inclusive grão em relação à quantidade do nutriente aplicado (QNa).

$$EA = Nab/QNa = (\text{kg kg}^{-1});$$

d) Eficiência de uso do fertilizante (EUF) = produção de grãos (Y) em relação à quantidade do nutriente aplicado (QNa).

$$EUF = Y/QNa = (\text{kg kg}^{-1}).$$

Os resultados foram submetidos à análise de variância e havendo efeito significativo de adubação, este foi desdobrado em efeitos de N e K por meio de análise de regressão utilizando o programa SAEG 8.0 (Saeg, 1999). Havendo efeito significativo de espaçamento, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5%.

## Resultados e discussão

A cultura do milho exige um mínimo de 400-600 mm de precipitação pluvial para que possa manifestar seu potencial produtivo, sem a necessidade da utilização da prática de irrigação, sendo que seu uso consuntivo, freqüentemente, oscila entre 4 a 6 mm por dia (Fancelli, 2002). No ciclo da cultura, ocorreu precipitação de 971,8 mm,

dando uma média de 5,85 mm por dia. Provavelmente no estágio inicial a disponibilidade de água não afetou o desenvolvimento vegetativo. Nos estádios seguintes florescimento e enchimento de grãos a distribuição de chuvas foi irregular, concentrando-se em determinados períodos, afetou a produtividade.

As variáveis biométricas, altura de planta, altura de inserção de espiga e os componentes da produção, número de fileiras de grãos e massa de 100 grãos não apresentaram diferença significativa em função do espaçamento e entre as doses de adubação em cobertura com N e K (Tabela 3).

**Tabela 3.** Altura de plantas, altura de inserção de espiga, plantas acamadas, número de fileiras, massa de 100 grãos, massa de grão por espiga, biomassa seca total e produtividade, em plantas de milho, híbrido Penta em função do espaçamento entrelinhas.

Espaçamento	Altura planta	Altura inserção espiga	Plantas acamadas	Fileiras	Massa 100 grãos	Massa grão/espiga	Biomassa seca total	Produtividade
	m							
0,45	2,42	1,23	1,13 b	15,93	36,25	191,1 ab	19339,00 a	9919,32
0,67	2,45	1,18	3,19 a	16,05	36,39	185,51 b	17516,67 b	9557,77
0,90	2,44	1,22	0,81 b	15,92	36,88	192,91 a	16757,50 b	9374,36
Fesp	0,70 <sup>ns</sup>	2,64 <sup>ns</sup>	45,85 <sup>**</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	3,90 <sup>*</sup>	13,47 <sup>**</sup>	2,87 <sup>ns</sup>
Fadu	0,69 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	2,79 <sup>**</sup>	3,93 <sup>**</sup>	2,68 <sup>**</sup>
Fdose/N	-	-	-	-	-	3,59 <sup>**</sup>	4,70 <sup>**</sup>	2,68 <sup>**</sup>
Fdose/K	-	-	-	-	-	0,98 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>*</sup>	1,03 <sup>ns</sup>
Fesp x adu	1,28 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
CV (%)	1,94	3,59	99,67	3,34	3,66	5,18	8,94	6,98

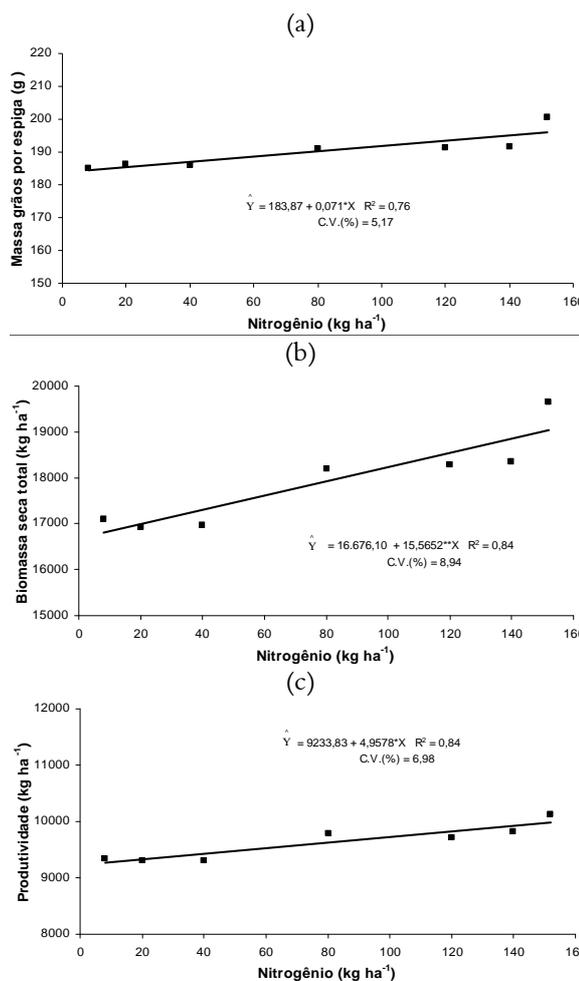
\*e\*\*: significativo em nível de 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito do espaçamento sobre a altura de plantas foi semelhante ao resultado obtido por Casagrande e Fornasieri Filho (2002), que avaliaram dois híbridos de milho e quatro doses de nitrogênio (0, 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup>) e observaram altura de plantas similar e não encontraram diferença estatística entre as doses de N e, também, a adubação nitrogenada não influenciou na massa de 100 grãos. Já Gross *et al.* (2006), observaram resultado contrário, no espaçamento de 0,90 m entrelinhas ocorreu maior altura de plantas que no espaçamento de 0,45 m. Quanto à variável altura de inserção de espiga, também foi observado por Rizzardi *et al.* (1994) que não houve diferença estatística entre os espaçamentos testados (0,70 e 0,90 m). Quanto ao efeito do espaçamento sobre a massa de 100 grãos foi semelhante ao observado por Amaral Filho *et al.* (2005), em um experimento com dois espaçamentos entrelinhas (0,80 e 0,60 m) e três densidades populacionais (40, 60 e 80 mil plantas ha<sup>-1</sup>) e quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>). Quanto ao efeito do espaçamento sobre o número de fileiras, contraria ao resultado obtido por Dourado Neto *et al.* (2003), que avaliou três populações de plantas (30, 60 e 90 mil plantas ha<sup>-1</sup>), dois espaçamentos (0,40 e 0,80 m) e

três híbridos de milho e observaram que a redução do espaçamento entrelinhas promoveu aumento significativo do número de fileiras por espiga.

A variável plantas acamadas apresentou diferença significativa do espaçamento entrelinhas. Com o espaçamento de 0,67 m houve maior ocorrência de plantas acamadas que nos espaçamentos 0,45 e 0,90 m, conforme Tabela 3.

A variável massa de grãos por espiga apresentou diferença significativa para a variável espaçamento, sendo o de 0,90 m superior ao 0,67 m e não apresentando diferença em relação ao espaçamento 0,45 m. Para adubação em cobertura com N e K houve diferença significativa apenas da massa de grão por espiga em relação às doses de N, ocorrendo um aumento de 0,071 g por kg de N aplicado, mostrando que houve efeito linear (Figura 1a). A adubação com K não influenciou a massa de grãos por espiga e a produtividade.



**Figura 1.** Massa de grãos por espiga (a), biomassa seca total (b) e produtividade de grãos (c) em função das doses de nitrogênio, para o híbrido Penta.

Para a biomassa seca total, houve resposta significativa ao menor espaçamento, ou seja, houve maior incremento na biomassa de folhas, colmos, palhas da espiga, sabugo e grãos, com a redução do espaçamento. O espaçamento de 0,45 m proporciona melhor distribuição de plantas e, conseqüentemente, maior aproveitamento de luz, fato que explica a maior produção de biomassa seca total, como já tinha sido observado por Rosolem *et al.* (1997), quando em espaçamentos menores, as plantas são menos desenvolvidas, mas a produção de massa seca é maior. Por outro lado não houve efeito significativo entre os espaçamentos de 0,65 e 0,90 m.

Apesar do efeito significativo da adubação potássica na produção de biomassa seca total, não foi possível ajustar uma equação, apresentando produção biomassa seca média de 18.022 kg ha<sup>-1</sup> em função das doses de K. Este resultado está de acordo com o teor inicial de K no solo que já estava alto (Tabela1).

Houve efeito linear para a produção de biomassa seca total quanto à adubação nitrogenada. Pela análise de regressão ocorreu aumento de 15,57 kg por kg de N aplicado (Figura 1b). Para a produtividade de grãos, não houve diferença significativa para o fator espaçamento. Possivelmente a competição intraespecífica, ocasionada pela variação no espaçamento entrelinhas, não foi intensa o suficiente para afetar a produtividade de grãos, como já tinha sido observado por Rizzardi *et al.* (1994). O efeito produzido pela variação dos espaçamentos na produtividade dos grãos (Tabela 3), em comparação com o espaçamento de 0,45cm, foi de redução na produtividade de 9,4 e 13,3% para os espaçamentos de 0,67 e 0,90 cm, respectivamente, portanto, observa-se uma tendência de aumento da produtividade com a redução do espaçamento entrelinhas. Apesar não haver diferença significativa ocorreu incremento de 545 kg ha<sup>-1</sup> de milho (9 sacas ha<sup>-1</sup>), mantendo a mesma população de plantas.

A produtividade de milho na região de Cascavel, Estado do Paraná, safra 2004/2005 foi de 7313 kg ha<sup>-1</sup> e a produtividade no Paraná foi de 5069 kg ha<sup>-1</sup> (Seab, 2006). Portanto, a produtividade obtida no espaçamento menor (0,45 m) foi 35,6% superior à média regional e 95,6% superior a média estadual.

Ocorreu efeito significativo para a produtividade em função do aumento das doses de N em cobertura, ocorrendo acréscimos de 4,96 kg de grãos por kg de N aplicado (Figura 1c). Quando se considera a dose máxima utilizada de 152 kg ha<sup>-1</sup> de N-sulfato de amônio e a produtividade de milho

obtida para esta dose de 9.987,4 kg, obtém-se a relação preço em reais do produto/preço do N-sulfato de amônio de R\$ 4,99/R\$1,00. No caso foi considerado o preço de sulfato de amônio na região (R\$ 2,523 kg<sup>-1</sup> N-sulfato de amônio), e o preço do milho (R\$ 0,1917 kg<sup>-1</sup> de milho) praticado pela Coopavel Cooperativa Agroindustrial no dia 25/7/2006. Obtendo-se, portanto, uma resposta econômica para a dose máxima de nitrogênio.

Não houve diferença significativa para a interação entre os espaçamentos e as doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura, para produtividade e demais variáveis avaliadas (Tabela 3).

Para a concentração de fósforo no solo de 0 - 10 e de 10 - 20 cm de profundidade, não houve diferenças significativas quanto ao espaçamento e adubação em cobertura, conforme Tabela 4.

Quanto à concentração de potássio avaliada até 10 cm de profundidade, houve diferença significativa para espaçamento, sendo que com 0,90 m o teor de K foi superior aos demais. No espaçamento 0,45 m houve menor teor de K no solo, indicando que as plantas de milho extraíram maior quantidade deste nutriente. Este fator possivelmente pode ser atribuído devido ao fato de que em espaçamentos menores há distribuição mais equidistante das plantas, fazendo com que ocorra melhor exploração do solo pelas raízes, aumentando a possibilidade de contato das raízes com os íons do solo. Este efeito é constatado posteriormente quando se avalia a eficiência de absorção de potássio em função dos espaçamentos. Rosolem *et al.* (1997) observaram que plantas de sorgo cultivadas em espaçamentos menores, no caso 0,50 e 0,70 m entrelinhas, são mais eficientes em explorar o nutriente do solo. Entretanto, não houve efeito significativo para espaçamento e adubação em cobertura quanto ao teor de K avaliado a 20 cm de profundidade.

Com exceção do teor de N no tecido foliar, para as demais variáveis não houve efeito significativo de adubação e também não houve interação significativa entre espaçamento e adubação (Tabela 4). Pela análise de regressão, houve efeito significativo do teor de N foliar em função das doses de adubação nitrogenada em cobertura apenas para o espaçamento 0,67 m. O efeito foi linear decrescente (Figura 2a). Esta redução do teor de N foliar com aumento das doses de N em cobertura, possivelmente, está relacionada ao efeito de diluição, pois com a redução do espaçamento entrelinhas de 0,90 para 0,67 m ocorreu aumento da produção de biomassa seca da parte aérea e, conseqüentemente, menor teor no tecido foliar (Tabela 4).

**Tabela 4.** Concentração de fósforo e potássio no solo nas profundidades de 10 e 20 cm, teores de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar e no grão e teor de proteína no grão, em plantas de milho, híbrido Penta em função da variação de espaçamentos entrelinhas.

Espaçamento (m)	P10	P20	K10	K20	N Foliar	P Foliar	K Foliar	P Grão	K grão	N Grão	Proteína %
	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmol dm <sup>-3</sup>	cmol dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>						
0,45	6,74	4,80	0,42 c	0,39	22,35	2,78 a	20,56	1,87 b	2,69 b	13,80 b	8,62 b
0,67	7,93	5,40	0,46 b	0,42	22,92	2,56 b	19,54	2,22 a	3,04 a	14,17 b	8,85 b
0,90	6,84	5,10	0,51 a	0,41	22,67	2,42 c	20,19	1,73 b	2,66 b	14,92 a	9,33 a
Fesp	1,27 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	15,89 <sup>**</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	11,24 <sup>**</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	6,88 <sup>**</sup>	4,54 <sup>*</sup>	7,54 <sup>**</sup>	7,54 <sup>**</sup>
Fadub	0,72 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	2,66 <sup>**</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>
Fdose N	-	-	-	-	1,87 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-
Fdose K	-	-	-	-	1,88 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-
Fesp x adub	0,71 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	2,26 <sup>**</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>
CV(%)	42,54	47,68	18,18	18,23	6,55	9,11	7,29	34,72	23,92	10,68	10,67

\*e\*\*, significativo em nível de 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A adubação nitrogenada em cobertura não influenciou nos teores de fósforo e potássio no tecido foliar e teores de fósforo e potássio no grão, já Ferreira *et al.* (2001) observaram em um experimento de milho com quatro doses de N (0, 70, 140 e 210 kg ha<sup>-1</sup>), que os teores de P e K aumentaram com a adubação nitrogenada.

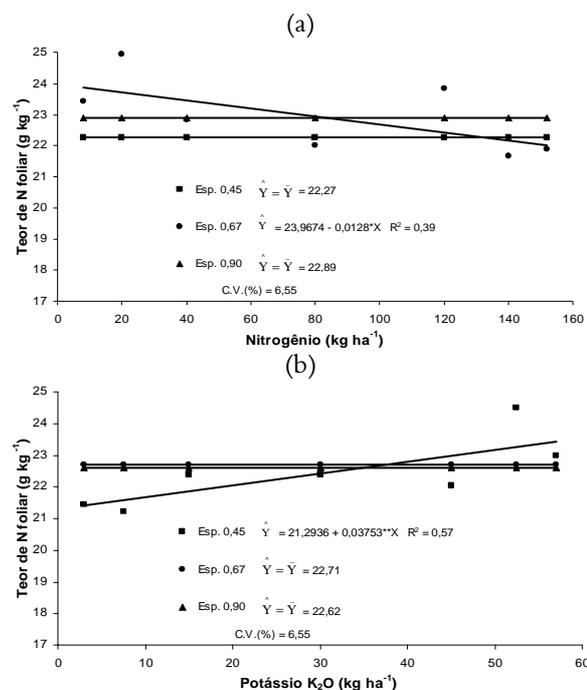
A adubação potássica em cobertura influenciou positivamente no teor de N foliar com a redução do espaçamento para 0,45 m (Figura 2b), ou seja, com aumento das doses de K em cobertura, ocorreu aumento do teor de N no tecido foliar indicando que, com a redução do espaçamento para 0,45 m, aumenta a exigência em adubo potássico para manter o teor de N foliar mais próximo do teor adequado para a cultura do milho, que deve estar entre 27,5 a 32,5 g kg<sup>-1</sup>, de acordo com Malavolta *et al.* (1997). Portanto, com a redução do espaçamento entrelinhas as plantas foram mais eficientes na absorção de N. Isso pode ocorrer em função de melhor distribuição do sistema radicular, aumentando a possibilidade de contato das raízes com o solo.

Para os espaçamentos de 0,67 e 0,90 m o teor de N foliar foi, em média, 22,71 e 22,62 g kg<sup>-1</sup>, portanto abaixo da faixa considerada adequada.

O teor de K que foi determinado na análise do tecido foliar do híbrido Penta foi semelhante a faixa considerada adequada para a cultura do milho que deve estar entre 17,5 – 22,5 g kg<sup>-1</sup>, de acordo com Malavolta *et al.* (1997). Mas não houve diferença significativa para o K foliar quanto aos fatores espaçamento e adubação em cobertura.

Para o P foliar houve diferença significativa quanto o fator espaçamento, sendo que o espaçamento 0,45 m foi superior aos demais, indicando que ocorreu um maior aproveitamento do fósforo nos espaçamentos menores, os quais proporcionaram maior absorção de fósforo, atribuindo isso, possivelmente, a uma distribuição mais equidistante das plantas e menor competição entre plantas na linha. Espaçamentos menores

favorecem o principal mecanismo de transporte de fósforo no solo, que é a difusão, assim como a interceptação radicular. Quanto à adubação em cobertura não houve influência dos tratamentos no teor de P no tecido foliar.



**Figura 2.** Teor de N foliar em função da adubação nitrogenada em cobertura (a) e em função da adubação potássica em cobertura (b), nos espaçamentos entrelinhas para o híbrido Penta.

Houve diferença significativa quanto ao teor de P no grão. Com o espaçamento de 0,67 m o teor de P foi superior aos espaçamentos de 0,45 e 0,90 m, mas não ocorreu efeito dos tratamentos de adubação em cobertura para o teor de P no grão. Comportamento semelhante foi observado para o teor de K no grão.

Quanto ao teor de N no grão e teor de proteína, houve efeito significativo para espaçamento, sendo o espaçamento 0,90 m o teor de N foi superior aos demais. Como a produtividade foi menor para este

espaçamento, ocorreu efeito de concentração, portanto, maior teor de N nos grãos. Estes resultados indicam que com a redução do espaçamento entrelinhas aumenta a necessidade de adubação nitrogenada.

Os teores de macronutrientes (N, P e K) que foram determinados na análise de grãos estão abaixo dos teores considerados adequados para a cultura do milho, adaptados de Malavolta (1980) e Hiroce *et al.* (1989), nitrogênio (17,68 g kg<sup>-1</sup>), fósforo (3,87 g kg<sup>-1</sup>) e potássio (4,89 g kg<sup>-1</sup>). Entretanto, foram obtidas altas produtividades e não foram observados sintomas de deficiência destes nutrientes.

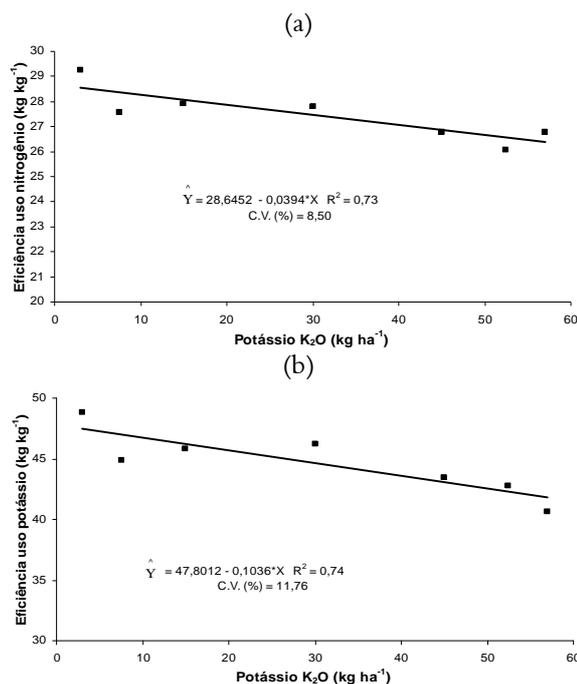
Quanto à eficiência de uso do nitrogênio, ou seja, quantidade de produto colhido por unidade de nutriente acumulado na parte aérea total, não houve resposta para espaçamento mas somente para a adubação potássica em cobertura (Tabela 5). Com o aumento das doses de K ocorreu redução da eficiência de uso de nitrogênio (Figura 3a).

**Tabela 5.** Eficiência de uso do nitrogênio total (EUN) e do potássio total (EUK) e eficiência de uso do nitrogênio no grão (EUNG) e do potássio no grão (EUKG) em plantas de milho híbrido Penta, em função da variação de espaçamentos entrelinhas.

Espaçamento m	EUN	EUK	EUNG	EUKG
	kg kg <sup>-1</sup>			
0,45	26,69 a	41,11 b	73,38 a	396,40 a
0,67	27,84 a	46,39 a	71,51 ab	346,43 b
0,90	28,29 a	48,04 a	67,79 b	399,11 a
Fesp	1,75 <sup>ns</sup>	5,89 <sup>**</sup>	6,41 <sup>**</sup>	7,97 <sup>**</sup>
Fadub	1,99*	2,52 <sup>**</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>
Fdose/N	1,07 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
Fdose/K	2,26*	3,00 <sup>**</sup>	1,72 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>
Fesp x adub	1,51 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>
CV (%)	8,50	11,76	10,59	24,94

\*e\*\*; significativo em nível de 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

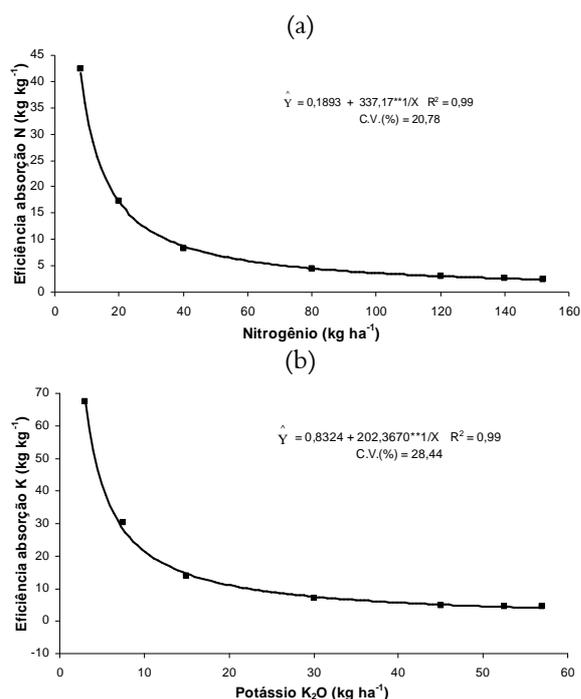
Para o potássio, houve diferença significativa para os fatores espaçamento e adubação em cobertura, quanto à eficiência de uso de K (Tabela 5). Os espaçamentos 0,67 m e 0,90 m foram superiores ao espaçamento 0,45 m. Na adubação em cobertura observou uma diminuição na eficiência de uso do K à medida que se aumentaram as doses de potássio, conforme Figura 3b, resultados similares foram observados por Silva *et al.* (1996), em um experimento com milho e espécies florestais em vasos, com alta dose de K (84 mg kg<sup>-1</sup>). Provavelmente esta redução na eficiência do uso de K esteja relacionada com altos níveis de K no solo amostrados antes do plantio do milho, valores considerados altos para a cultura do milho com teores de 0,37 e 0,35 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> nas camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm, respectivamente (Tabela 1).



**Figura 3.** Eficiência de uso de nitrogênio (a) e eficiência do uso de potássio (b) em função das doses de potássio, para o híbrido Penta.

Houve resposta quanto à eficiência de uso de N e K no grão para espaçamento, mas não houve efeito de adubação e, também, diferenças significativas da interação entre espaçamento e adubação em cobertura (Tabela 5). Quanto ao N, no espaçamento 0,45 m ocorreu maior eficiência no uso do nutriente no grão do que no espaçamento 0,90 m entrelinhas. Quanto ao K, nos espaçamentos 0,45 e 0,90 m foi obtido maior eficiência no uso do nutriente no grão do que no espaçamento 0,67 m entrelinhas, conforme Tabela 5.

Quanto à eficiência de absorção que é a razão entre o nutriente acumulado na parte aérea inclusive grãos pela quantidade de nutriente aplicado, houve diferença significativa para os nutrientes N e K, para espaçamento e adubação em cobertura, conforme Tabela 6. Para ambos nutrientes N e K, os espaçamentos 0,45 e 0,67 m foram superiores ao espaçamento 0,90 m. A redução do espaçamento entrelinhas resultou em maior eficiência na absorção de N e K, indicando que com a distribuição mais equidistante das plantas na linha diminui a competição entre plantas por elementos de maior mobilidade no solo. Para adubação em cobertura, ambos os nutrientes N e K, apresentaram comportamento semelhante, ou seja, à medida que se aumentaram as doses de adubação em cobertura com N e K, diminuiu a eficiência de absorção de N e K, conforme Figura 4a e b.



**Figura 4.** Eficiência de absorção de nitrogênio em função da adubação nitrogenada (a) e eficiência de absorção de potássio em função da adubação potássica (b) para o híbrido Penta.

Não houve resposta para a eficiência de uso do fertilizante, que é a razão entre a produção de grãos e a quantidade do nutriente aplicado, em função dos espaçamentos (Tabela 6).

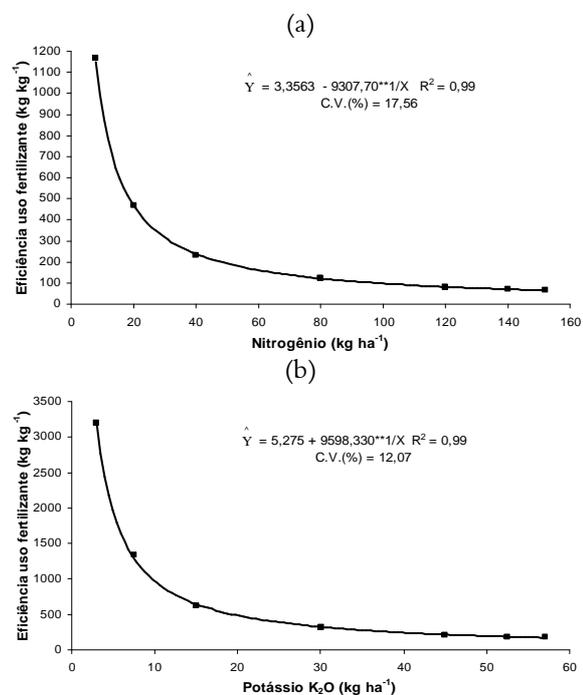
**Tabela 6.** Eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), Eficiência de Utilização da adubação nitrogenada (EUFN), Eficiência de absorção de potássio (EAK), Eficiência de Utilização da adubação potássica (EUFK), em plantas do híbrido de milho Penta em função da variação de espaçamentos entrelinhas.

Espaçamento	EAN	EUFN	EAK	EUFK
m				
	kg kg <sup>-1</sup>			
0,45	12,30 a	331,89	21,64 a	885,34
0,67	11,51 ab	310,31	18,42 ab	875,01
0,90	10,65 b	303,61	16,69 b	828,44
F <sub>esp</sub>	3,32*	2,02 <sup>ns</sup>	6,12**	2,37 <sup>ns</sup>
F <sub>adub</sub>	447,50**	641,22**	226,17**	1354,57**
F <sub>esp x adub</sub>	1,27 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	1,88 <sup>ns</sup>	1,52 <sup>ns</sup>
CV (%)	20,78	17,46	28,44	12,07

\*e\*\*: significativo em nível de 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a adubação em cobertura, a resposta foi significativa para ambos fertilizantes (nitrogenado e potássico), que apresentaram comportamento semelhante, ou seja, à medida que se aumentaram as doses de adubação em cobertura de N e K, diminuiu-se a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenado e potássico (Figura 5a e b). Doses acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O tiveram pouca influência na eficiência de absorção destes

nutrientes e na eficiência de uso do fertilizante, proporcionando uma eficiência de apenas 10% em relação às menores doses dos adubos nitrogenados e potássicos.



**Figura 5.** Eficiência de uso do fertilizante nitrogenado (a) e eficiência de uso do fertilizante potássico (b) para o híbrido Penta em função das adubações utilizadas em cobertura.

## Conclusão

Nas condições em que foi realizado o trabalho podemos concluir que:

Com a redução do espaçamento entrelinhas e mantendo a mesma população por área (55000 plantas ha<sup>-1</sup>), a biomassa seca total foi maior com espaçamento de 0,45 m entrelinhas, mas a produtividade não foi influenciada significativamente.

A redução no espaçamento (0,90 para 0,45 m) proporcionou uma melhor distribuição espacial das plantas e aumentou a eficiência na absorção de N e K e também maior eficiência de uso de N e K no grão.

Doses acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O resultaram em menor eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados e potássicos e também em diminuição da eficiência de absorção de N e K.

## Referências

- AMARAL FILHO, J.P.R. *et al.* Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura de milho. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 29, p. 467-473, 2005.
- ARGENTA, G. *et al.* Resposta de híbrido simples de milho à redução do espaçamento entrelinhas. *Pesq.*

- Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 36, n. 1, p.71-78, 2001a.
- ARGENTA, G. *et al.* Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001b.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V.; Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 21, p. 73-85, 1974.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). *Cultura do milho*: Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1993. p. 63-145.
- CASAGRANDE, J.R.R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.
- DOURADO NETO, D. *et al.* Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. *Rev. Bras. Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 63-77, 2003.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1999.
- FANCELLI, A.L. Cursos de atualização à distância – Tecnologia da Produção de Milho. Módulos 1 e 3. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2002.
- FERREIRA, A.C.B. *et al.* Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.
- GROSS, M.R. *et al.* Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. *Cienc. Agrotecnol.*, Lavras v. 30, n. 3, p. 387-393, 2006.
- HIROCE, R. *et al.* *Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho*. Campinas: Instituto Agronômico, 1989. (Boletim Científico, 17).
- LEITE, R.A. *Uso de matrizes experimentais e de modelos estatísticos no estudo do equilíbrio fósforo-enzofre na cultura de soja em amostras de dois Latossolos de Minas Gerais*. 1984. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980.
- MALAVOLTA, E. *et al.* *Avaliação de estado nutricional das plantas princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997.
- MOLL, R.H. *et al.* Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.*, Madison, v. 74, p. 56-565, 1982.
- RIZZARDI, M.A. *et al.* Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 29, n. 8, p. 231-236, 1994.
- ROSOLEM, C.A. *et al.* Quantidade de macronutrientes absorvida pelo sorgo-granífero em função de espaçamentos e populações. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 21, n. 2, p. 207-211, 1997.
- SAEG. *Sistema para Análises Estatísticas*. Versão 8.0. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- SEAB. Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/seab>>. Acesso em: 24 jul. 2006.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SILVA, I.R. *et al.* Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 20, p. 257-264, 1996.
- TEDESCO, M.J. *et al.* *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Ufrgs, 1995. (Boletim Técnico, 5).

Received on August 29, 2006.

Accepted on January 12, 2007.