

EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM LAVOURAS DE MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE

Tháisa Fernanda Oliveira*

Victor Jordão Braga Oliveira**

Junia Maria Clemente***

Leonardo Angelo de Aquino****

Marcelo Rodrigues dos Reis*****

Flavio Lemes Fernandes*****

RESUMO: O conhecimento da variabilidade da nutrição de plantas e da produtividade em áreas cultivadas com plantas de milho que apresentam alta produtividade pode fornecer importantes subsídios na racionalização do uso de insumos e auxiliar no manejo da fertilidade do solo. Essa pesquisa tem como objetivo determinar os padrões de extração e de exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) por lavouras de milho de alta produtividade. Quinze talhões de milho cultivados sob sistema convencional e que apresentavam alto potencial produtivo foram amostrados no ano agrícola 2014/2015 na região do Alto Paranaíba (MG) e avaliaram-se a produtividade e a extração e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S. Os acúmulos de N, P, K e S em grãos e extração total tiveram efeitos positivos na produtividade da cultura do milho. A massa de mil grãos foi o componente de produtividade mais importante na definição da produtividade. A extração e exportação de N, P, K e S aumentaram linearmente com o aumento da produtividade. Os resultados fornecem dados importantes sobre a absorção e partição de nutrientes dos híbridos atuais e permitem aprimorar as recomendações de adubação para produção de grãos de milho.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilidade; Grãos; Nutrição; *Zea mays*.

* Departamento de Ciências Agrárias – Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Brasil.
E-mail: thaisafernanda135@gmail.com

** Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa, campus Rio Paranaíba, Brasil.

*** Doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa; Docente do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Campus Manhuaçu, Brasil.

**** Doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa; Docente Adjunto IV da Universidade Federal de Viçosa, campus Rio Paranaíba, Brasil.

***** Doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa; Docente Adjunto IV da Universidade Federal de Viçosa, campus Rio Paranaíba, Brasil.

EXTRACTION AND EXPORT OF MACRONUTRIENTS IN HIGH PRODUCTIVITY CORN

ABSTRACT: Knowledge on the variability of plant nutrition and productivity in corn plantations with high productivity may provide important subsidies in the restructuring of inputs and in the management of soil fertility. Current research determines extraction and export standards of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur in high productivity corn plantations. Fifteen corn rows cultivated within the traditional system, featuring high productivity, were sampled in the Alto Paranaíba, MG, Brazil, for the agricultural year 2014/2015, and the productivity, extraction and export of N, P, K, Ca, Mg and S were assessed. Accumulation of these macronutrients in the grains and total extraction had positive effects in corn productivity. Mass of one thousand grains was the most relevant productivity's component. N, P, K and S extraction and export increased linearly with increase of productivity. Results provide important data on the absorption and partition of nutrients of hybrids and allow the improvement of fertilizing recommendations for corn production.

KEY WORDS: Fertility; Grains; Nutrition; *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é o principal cereal produzido no Brasil. Na safra 2017/2018 estima-se, para o milho primeira e segunda safra, que a cultura será cultivada em aproximadamente 16 milhões de hectares, com produção próxima a 67 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 5,3 toneladas por hectare (CONAB, 2018).

A cultura apresenta alta exigência em macronutrientes e o manejo adequado dos fertilizantes é um dos principais fatores a contribuir para respostas positivas na produtividade. A extração e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S é um dos indicadores da necessidade nutricional das plantas de milho e, assim, espera-se que quanto maior o rendimento de fitomassa maior seja a extração de nutrientes pela planta (SETIYONO *et al.*, 2010).

Os manuais de recomendação, comumente utilizados para indicação

de fertilizantes, são embasados em menores produtividades, pois são resultados de pesquisas feitas em décadas anteriores, com conjunto de tecnologias que possibilitavam produtividades menores que as obtidas atualmente (BENDER *et al.*; 2013). O avanço tecnológico nos últimos anos, caracterizado pelo uso de ferramentas de biotecnologia, híbridos geneticamente superiores, bem como a adoção de práticas agrônômicas eficientes, tem levado a aumentos crescentes nas produtividades (BENDER *et al.*, 2013).

Com o aumento na produtividade a demanda por macronutrientes segue a mesma tendência. Portanto, é primordial a reavaliação da extração e partição de nutrientes em lavouras com alto potencial produtivo com objetivo de otimizar o programa de adubação. Diante disso, o objetivo dessa pesquisa foi determinar os padrões de extração e de exportação de macronutrientes por lavouras de milho de alta produtividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Quinze talhões de milho cultivados sob sistema convencional e que apresentavam alto potencial produtivo foram amostrados no ano agrícola 2014/2015 nos municípios de Campos Altos, Rio Paranaíba e São Gotardo, localizados na região do Alto Paranaíba (MG) com altitudes variando entre 1.000 e 1.200 metros. Coordenadas e altitudes dos talhões: Lavouras 1 a 4 - 19°12'03" S 46°10'11" W e altitude de 1131 m; Lavouras 5 e 6 - 19°29'23" S 46°11'41" W e altitude de 1186 m; Lavouras 7 a 11 - 19°12'26" S 46°07'08" W e altitude de 1111 m; Lavoura 12 - 19°14'23" S 46°18'46" W e altitude de 944 m; Lavoura 13 a 15 - 19°16'38" S 46°18'32" W e altitude de 912 m. Nesses talhões, já se cultivavam olerícolas (cenoura, cebola, alho e batata) em rotação com grandes culturas (milho, soja e trigo).

O solo de todos os talhões é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima segundo a classificação internacional de Köppen é do tipo Aw, definido como tropical com estação seca. As características químicas do solo das lavouras amostradas estão apresentadas na Tabela 1 (alguns talhões estavam no mesmo solo e a diferença entre eles era o híbrido

de milho e a população). As principais características das unidades amostrais estão sumarizadas na Tabela 2 e os dados meteorológicos para a região na Figura 1.

Tabela 1 - Análise química dos solos na camada de 0 a 20 cm de profundidade

Análises	Unidades	Solos						
		1	2	3	4	5	6	7
pH (H ₂ O)	.	5.5	6.3	6.3	6.5	5.5	6.2	5.4
M.O.	dag kg ⁻¹	3.2	4.1	2.6	2.2	2.4	2.4	3.9
P-rem	mg l ⁻¹	24.7	13.0	13.0	14.4	15.8	11.3	30.2
P (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	10.5	51.0	45.0	17.2	10.4	43.7	26.9
K	mg dm ⁻³	131	137	125	64	91	253	112
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	3.2	4.3	4.3	5.2	3.0	3.8	3.5
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0.9	1.1	0.6	1.3	0.9	0.8	0.9
S	mg dm ⁻³	29	54	18	24	29	12	19
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0.27	0	0	0	0.2	0	0.32
H+Al	cmol _c dm ⁻³	6.10	3.65	3.24	2.60	5.60	2.83	6.59
SB	cmol _c dm ⁻³	4.43	5.75	5.22	6.66	4.13	5.25	4.46
t	cmol _c dm ⁻³	4.70	5.75	5.22	6.66	4.33	5.25	5.01
T	cmol _c dm ⁻³	10.53	9.40	8.46	9.26	9.73	8.08	11.28
B	mg dm ⁻³	0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	1.1	0.7
Zn	mg dm ⁻³	1.4	8.4	8.6	1.4	1.2	10.6	3.1
Fe	mg dm ⁻³	32.0	42.0	45.0	30.0	31.0	25.2	30.0
Mn	mg dm ⁻³	5.9	5.3	7.1	11.7	11.3	14.9	16.9
Cu	mg dm ⁻³	3.5	7.8	3.2	1.2	1.2	7.3	2.0

Extratores: P - Resina; P e K - Mehlich - 1; Ca, Mg e Al - KCl 1 mol L⁻¹; B - água quente; Cu, Fe, Mn e Zn - DTPA pH 7,3; S-SO₄⁻² - Fosfato Monobásico cálcio 0.01 mol L⁻¹; M.O. = Método Walkley-Black.

Tabela 2. Características das unidades amostrais

Talhão	Solo	Híbrido	População (plantas/ha)	Espaçamento (m)	DS	DC	AS			AC	
							(kg ha ⁻¹)			(kg ha ⁻¹)	
							N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O
1	1	P30F53YH	68500	0,6	28/10	19/04	28	105	35	165	0
2	1	P3456H	66700	0,6	28/10	19/04	28	105	35	165	0
3	1	P3779H	69200	0,6	28/10	19/04	28	105	35	165	0
4	1	P3630H	65000	0,6	28/10	19/04	28	105	35	165	0
5	2	P30F53YH	63750	0,8	25/10	26/04	20	94	00	216	60
6	3	P30F53YH	68500	0,8	15/10	12/04	20	94	00	216	60
7	4	P3456H	70500	0,5	23/10	02/05	24	90	30	184	150
8	4	P3779H	83500	0,5	23/10	02/05	24	90	30	184	150
9	4	P3630H	80000	0,5	23/10	02/05	24	90	30	184	150
10	5	2B810 Pw	66400	0,5	23/10	02/05	24	90	30	170	80
11	5	DKB310VPro 2	65000	0,5	23/10	02/05	24	90	30	170	80
12	6	P30F53YH	65500	0,5	20/10	25/03	18	66	22	126	0
13	7	P30F53YH	66500	0,5	25/10	05/05	32	126	72	113	0
14	7	30A37 Pw	71500	0,5	25/10	05/05	32	126	72	113	0
15	7	DKB310 VPro 2	70500	0,5	25/10	05/05	32	126	72	113	0

Data de semeadura (DS); Data de colheita (DC); Adubação de semeadura (AS); Adubação de cobertura (AC).

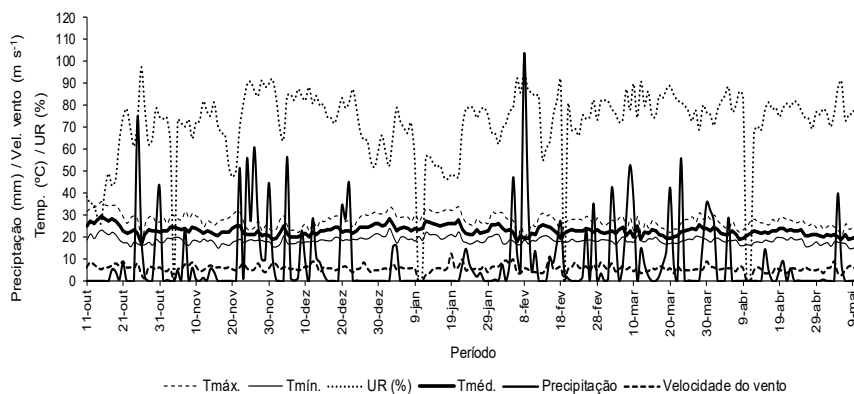


Figura 1. Precipitação, velocidade do vento, temperatura máxima (Tmáx.), temperatura mínima (Tmín.), temperatura média (Tméd.) e umidade relativa do ar (UR%) para a região do Alto Paranaíba (MG), no período de outubro de 2014 a maio de 2015.

Foram coletadas plantas na fase de maturidade fisiológica para determinação da matéria seca e extração de macronutrientes. Em cada área selecionada foram amostras 20 plantas em cinco pontos. Em cada ponto, quatro plantas consecutivas foram cortadas rente ao solo. Os pontos estavam inseridos em uma subárea homogênea do talhão de 50 x 50 m. As plantas de milho foram subdivididas em material produtivo (grãos) e material vegetativo (folhas, colmo, pendão, sabugo e folha modificada da espiga). O material vegetativo foi picado em picador forrageiro, homogeneizado, pesado e em seguida retirou-se uma sub-amostra.

Os grãos também foram pesados e retirada uma sub-amostra. Para eliminação total da umidade, as sub-amostras de material vegetativo e grãos foram acondicionadas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 70 °C durante 72 h até a obtenção da massa constante. Em seguida, as sub-amostras foram pesadas para obter a matéria seca (grãos, vegetativa e total) e os valores extrapolados para se obter a massa por hectare.

A produtividade foi estimada pela coleta de 20 plantas e de suas espigas, que foram debulhadas e retirada uma amostra de 500 gramas que após seca em estufa foi pesada e extrapolada a produção por hectare. Determinaram-se também o número de fileiras por espiga (FE), o número de grãos por fileira (GF) e o número de grãos por espiga que foi obtido pelo produto entre FE e GF. A massa de 1000 grãos foi obtida pela contagem manual de quatro repetições de 250 grãos, os quais foram secos até detecção da massa constante e realizada a pesagem em balança de precisão. Para as variáveis massa de mil grãos e produtividade a umidade foi corrigida para 13% de base úmida.

Após a secagem, o material vegetal foi triturado em moinho Wiley equipado com peneira de 1,27 mm para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S de acordo com métodos descritos em Malavolta *et al.* (1997). Os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg e S na parte vegetativa e grãos foram estimados pelo produto entre os teores dos respectivos nutrientes e o rendimento de matéria seca e expressos em kg ha⁻¹.

O índice de colheita, com base na matéria seca, foi calculado pela razão entre a produção de matéria seca de grãos e a massa da matéria seca total. Os índices de colheita dos macronutrientes foram calculados pela razão entre o acúmulo do respectivo nutriente nos grãos pelo acúmulo total na planta.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de estatística descritiva para obter a média, valores máximos e mínimos e coeficiente de variação. A medida da correlação linear do coeficiente de Pearson serviu para determinar a relação entre as variáveis analisadas, a 5% de probabilidade. Ajustaram-se as equações de regressão para explicar a variação da extração e exportação de macronutrientes em função da produtividade de grãos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva da produtividade, bem como das variáveis do crescimento vegetativo nas plantas de milho apresentaram coeficientes de variação (CVs) relativamente baixos, o que caracteriza homogeneidade dos dados (Tabela 03). Quanto aos acúmulos de N, P, K, Ca e Mg nos grãos e na parte vegetativa os CVs mais elevados indicam efeitos de fatores relacionados aos diferentes híbridos, a exemplo da potencialidade genética, da quantidade de carboidratos produzida, da intensidade transpiratória e morfologia das raízes (BENDER *et al.*, 2013).

Tabela 3. Estatística descritiva da produtividade, população de plantas, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de mil grãos, massa seca vegetativa, massa seca total, acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S na parte vegetativa, nos grãos e total, índices de colheita para o N, P, K, Ca, Mg e S em plantas de milho e índices de colheita de grãos

(Continua)

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	CV
Produtividade (t ha ⁻¹)	13	15	18	8.8
População de plantas	63.750	69.403	83.500	7.9
Fileiras por espiga	15	17	20	10.2
Grãos por fileira	31	36	40	8.1
Grãos por espiga	551	628	720	8.2
Massa de mil grãos (g)	243	319	353	9.9
Massa seca vegetativa (kg ha ⁻¹)	10.293	12.320	15.696	11.6
Massa seca total (kg ha ⁻¹)	21.207	25.646	29.259	7.8
Índice de colheita de grãos (kg kg ⁻¹)	0.46	0.52	0.57	4.7

(Conclusão)

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	CV
N acumulado na parte vegetativa (kg ha ⁻¹)	49	68	105	20.2
N acumulado nos grãos (kg ha ⁻¹)	107	148	203	14.9
N acumulado total (kg ha ⁻¹)	155	216	254	12.8
P acumulado na parte vegetativa (kg ha ⁻¹)	3	6	9	28.1
P acumulado nos grãos (kg ha ⁻¹)	35	58	92	25.8
P acumulado total (kg ha ⁻¹)	37	64	98	28.1
K acumulado na parte vegetativa (kg ha ⁻¹)	95	181	246	23.4
K acumulado nos grãos (kg ha ⁻¹)	61	72	111	17.9
K acumulado total (kg ha ⁻¹)	157	253	324	17.3
Ca acumulado na parte vegetativa (kg ha ⁻¹)	30	42	62	22.5
Ca acumulado nos grãos (kg ha ⁻¹)	6	13	35	65.8
Ca acumulado total (kg ha ⁻¹)	38	55	71	20.3
Mg acumulado na parte vegetativa (kg ha ⁻¹)	16	25	38	28.8
Mg acumulado nos grãos (kg ha ⁻¹)	15	24	35	24.7
Mg acumulado total (kg ha ⁻¹)	36	48	64	18.2
S acumulado na parte vegetativa (kg ha ⁻¹)	4	4	6	12.5
S acumulado nos grãos (kg ha ⁻¹)	4	5	6	10.3
S acumulado total (kg ha ⁻¹)	8	9	11	8.1
Índice de colheita do N (kg kg ⁻¹)	0.59	0.69	0.80	6.4
Índice de colheita do P (kg kg ⁻¹)	0.86	0.91	0.94	2.3
Índice de colheita do K (kg kg ⁻¹)	0.22	0.29	0.44	22.0
Índice de colheita do Ca (kg kg ⁻¹)	0.1	0.2	0.5	47.3
Índice de colheita do Mg (kg kg ⁻¹)	0.3	0.5	0.7	20
Índice de colheita do S (kg kg ⁻¹)	0.4	0.5	0.6	6.9
Índice de colheita dos grãos (kg kg ⁻¹)	0.4	0.5	0.5	4.7

CV - coeficiente de variação.

A produtividade média do milho nos talhões amostrados foi de 15 t ha⁻¹ com valores mínimo e máximo de 13 e 18 t ha⁻¹ (Tabela 3). Essa produtividade média é expressivamente superior à **média nacional (5,3 t ha⁻¹)** e à média no Estado de Minas Gerais (6,3 t ha⁻¹) (CONAB, 2018). Esse alto rendimento do milho nas lavouras amostradas deveu-se à combinação de boas práticas agrônômicas, a

exemplo da adequada nutrição das plantas, híbridos de alto potencial produtivo, ajuste adequado de população, solos de alta fertilidade e época de cultivo favorável à cultura.

Os índices de colheita para o N, P, K, Ca, Mg e S apresentaram médias de 0.69, 0.91, 0.29, 0.2, 0.5 e 0.5 kg kg⁻¹ (Tabela 3). Assim, há maior remoção de N e de P da área de cultivo pelos grãos colhidos em relação aos demais nutrientes. No caso do K, a maior parte é **acumulada** na parte vegetativa e devido a isso é **restituído ao solo** após a colheita com a incorporação dos restos culturais do milho (ZÖRB *et al.*, 2014). Como o K não faz parte da estrutura de compostos orgânicos nas plantas é facilmente liberado ao solo com a fragmentação dos resíduos e com a lavagem pela água da chuva (ZÖRB *et al.*, 2014).

Em pesquisa realizada nos Estados Unidos com híbridos de milho de alta produtividade, Bender *et al.* (2013) obtiveram os índices de colheita (kg kg⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg de 0.58, 0.79, 0.33, 0.29 e S 0.57, cujas exportações para os grãos foram de 166, 90, 66, 17 e 15 kg ha⁻¹, respectivamente. Isso demonstra a necessidade de compreender onde, quando e como os nutrientes são utilizados pelas plantas e também a necessidade de restituir ao solo os nutrientes exportados pela cultura, a fim de não causar empobrecimento ao mesmo para cultivos futuros.

A produtividade apresentou correlação positiva e significativa com a massa de mil grãos, no entanto, não apresentou correlação significativa com população de plantas, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e número de grãos por espiga (Tabela 4). A massa de mil grãos é influenciada pelo acúmulo de fotoassimilados durante o crescimento vegetativo no colmo que são translocados na fase de enchimento de grãos e, junto com os fotoassimilados produzidos nessa fase, completam o enchimento dos grãos (BRITO *et al.*, 2013).

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson da produtividade (PRO), população de plantas de milho (POP), número de fileiras por espiga (FE), número de grão por fileira (GF), número de grãos por espiga (GE), massa de mil grãos (M1000), matéria seca vegetativa (MSV) e matéria seca total (MST)

Variáveis	PRO	POP	FE	GF	GE	M1000	MSV	MST
PRO	1	0.0414	-0.192	-0.0109	-0.216	0.68**	0.387	0.822**
POP		1	0.368	-0.743**	-0.328	-0.228	0.175	0.132
FE			1	-0.655**	0.615*	-0.642**	0.224	0.026
GF				1	0.189	0.232	-0.479	-0.302
GE					1	-0.573*	-0.178	-0.235
M1000						1	0.35	0.612*
MSV							1	0.844**
MST								1

* Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade.

O número de fileiras por espiga apresentou correlação significativa e negativa com o número de grãos por fileira e massa de mil grãos (Tabela 4). Quanto aos grãos por espiga essa correlação foi positiva, dado que quanto maior o número de fileiras por espiga espera-se maior número de grãos por espiga. No entanto, as massas individuais dos grãos juntamente ao número de grãos por fileira deverão ser menores devido à menor quantidade de fotoassimilados destinados à formação dos grãos (BRITO *et al.*, 2013).

A população de plantas correlacionou-se negativamente com o número de grãos por fileira (Tabela 4). Argenta *et al.* (2001) verificaram que o aumento da população de plantas proporcionou menor número de grãos por espiga, havendo um decréscimo linear com o aumento no espaçamento entre linhas. Populações muito altas podem retardar o aparecimento dos estigmas e dos estiletos mais que a liberação do pólen, especialmente sob condições adversas (água), afetando assim a fecundação e, conseqüentemente, a formação dos grãos. Borghi *et al.* (2004) afirmam que para uma população de 55.000 plantas ha⁻¹ houve maior massa de grãos por espiga, e destacam a influência de condições favoráveis na época do florescimento, uma vez que temperatura alta e baixa precipitação pluvial diminuiram a quantidade de grãos formados nas maiores populações, em razão da maior competição por

recursos entre as plantas, refletindo nos menores valores de massa de grãos por espiga.

A matéria seca vegetativa correlacionou positivamente com a matéria seca total (Tabela 4). A falta de correlação entre matéria seca vegetativa e produtividade pode estar relacionada aos índices de colheita distintos dos híbridos de milho. Híbridos com alta matéria seca vegetativa podem apresentar baixo índice de colheita (matéria seca de grãos), o que significa menor eficiência de conversão de fotoassimilados em grãos (BENDER *et al.*, 2013; BRITO *et al.*, 2013).

Maiores acúmulos de N, P, K, Mg e S nos grãos, bem como com a extração total do N, P, K e S resultaram em produtividades superiores (Tabela 5). Plantas bem nutridas são mais eficientes na absorção dos nutrientes em geral, devido ao maior crescimento do sistema radicular e melhor eficiência de rotas metabólicas da planta com resultados positivos na produtividade (MONTEZANO *et al.*, 2008).

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Pearson da produtividade com N, P, K, Ca, Mg e S acumulados em parte vegetativa, grãos e total (Continua)

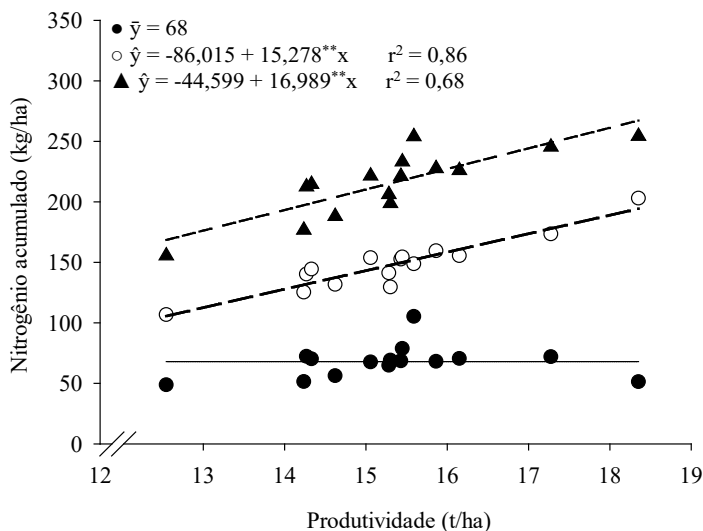
Variáveis	Produtividade
N acumulado na parte vegetativa	0.169
N acumulado em grãos	0.932**
Extração total de N	0.829**
P acumulado na parte vegetativa	0.391
P acumulado em grãos	0.663**
Extração total de P	0.664**
K acumulado na parte vegetativa	0.400
K acumulado em grãos	0.743**
Extração total de K	0.606*
Ca acumulado na parte vegetativa	-0.165
Ca acumulado em grãos	-0.107
Extração total de Ca	-0.221
Mg acumulado na parte vegetativa	-0.088
Mg acumulado em grãos	0.541*
Extração total de Mg	0.286

(Conclusão)

Variáveis	Produtividade
S acumulado na parte vegetativa	0.191
S acumulado em grãos	0.674**
Extração total de S	0.604*
Índice de colheita dos grãos	0.472

* Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade.

Os acúmulos totais de N e P e em grãos aumentaram linearmente com o aumento da produtividade (Figura 2); em parte vegetativa o acúmulo de N e P não variou com a produtividade e as médias gerais foram de 68 e 6 kg ha⁻¹, respectivamente. Isto indica que a alta capacidade de exportação de N e P dos híbridos é determinante para altas produtividades. Com relação aos acúmulos totais de K, em parte vegetativa e em grãos, estes aumentaram linearmente com o aumento da produtividade (Figura 2).



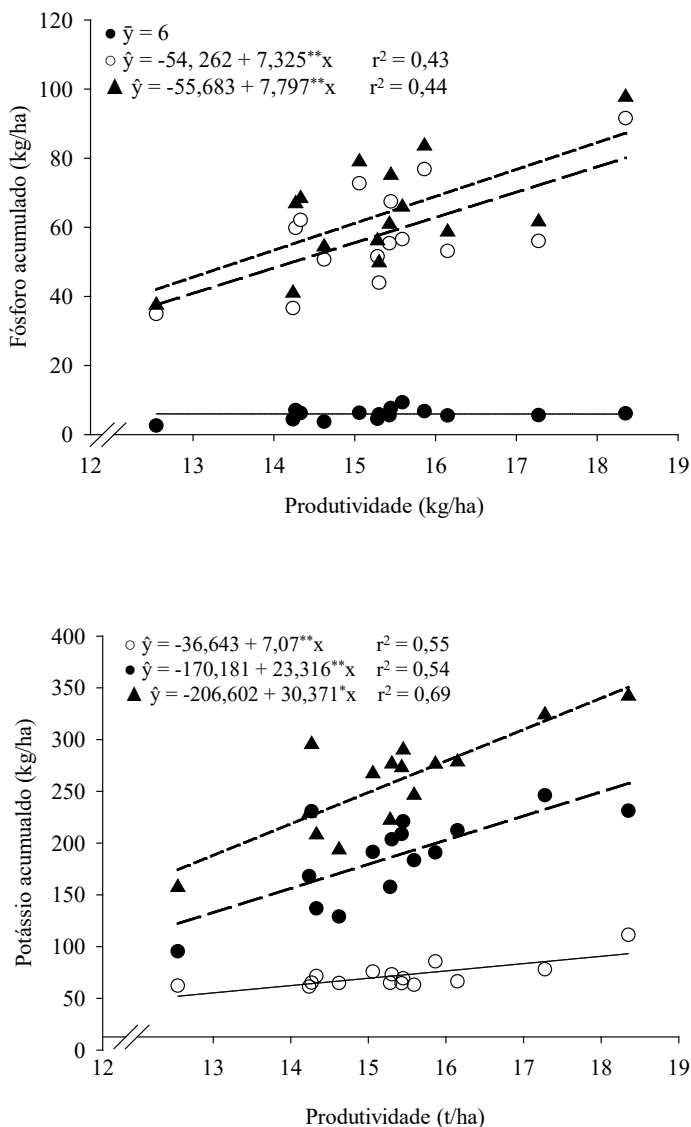


Figura 2. Nitrogênio, fósforo e potássio acumulados na parte vegetativa (●), grãos (○) e na planta inteira (▲) em função da produtividade do milho

Houve alta extração e exportação de N (Figura 2). O P é extraído em menor proporção comparativamente ao N e ao K, porém é fortemente exportado. O K é altamente extraído, porém a exportação é baixa, indicando a alta capacidade de reciclagem de K pelo milho (Figura 2). O N e o P, juntamente com o K (pela sua alta extração), merecem atenção especial e devem ser atendidos prioritariamente na adubação de reposição para que não se empobreça o solo.

A relação linear entre acúmulos de NPK (na planta inteira) e em grãos com a produtividade (Figura 2), sugere que a produtividade pode ser incrementada pela adição de maiores doses de fertilizantes. No entanto, deve-se atentar para o fato de que doses excessivas, principalmente de N, podem causar danos ambientais relacionados à perda de N na forma de N_2O gasoso e de NO_3^- que pode lixiviar para o lençol freático (PRIMAVESI *et al.*, 2006). Sichoeki *et al.* (2014) afirmam que doses de N e de P não influenciaram o número de fileiras de grãos por espiga no cultivo de milho safrinha, no entanto, o número de grãos por fileira, o teor foliar de N, o teor foliar de P e a massa de mil grãos apresentaram aumento linear em resposta às doses de N. O aumento do número de grãos por fileira contribui para aumento da produtividade e o alto teor de N e de P contribui para maior taxa fotossintética e enchimento dos grãos, especialmente na fase reprodutiva.

Com relação ao K, a aplicação insuficiente de adubo potássico pode levar ao esgotamento das reservas do solo; já a aplicação excessiva pode intensificar as perdas por lixiviação, mesmo em solos com média e alta capacidades de troca catiônica, além de competir com os demais macronutrientes catiônicos pelos sítios de absorção (ERNANI *et al.*, 2007).

Os acúmulos de Ca e Mg não variaram com a produtividade crescente, sendo as extrações médias totais de 54.82 e 48.29 kg ha⁻¹, respectivamente. Os resultados obtidos quanto ao Ca e Mg sugerem que os solos já apresentavam quantidades suficientes para suprir as necessidades das plantas de milho, sendo que nos talhões amostrados já se cultivavam olerícolas (cenoura, cebola, alho e batata) em que a aplicação de corretivos e fertilizantes é bastante elevada.

A extração total de S e o acúmulo desse nutriente nos grãos aumentaram linearmente com o aumento da produtividade. A aplicação de fórmulas comerciais de fertilizantes com altas concentrações NPK, a exemplo do superfosfato triplo,

utilizam matéria-prima pobre em S e podem causar a deficiência do nutriente em solos pobres em matéria orgânica ou quando a extração do nutriente é alta em lavouras com alta produtividade.

Setiyono *et al.* (2010) mensuraram que para obtenção de uma produtividade de 15 t ha⁻¹ de grãos de milho, demandam, em média, 257 kg de N, 37 kg de P e 249 kg de K, dos quais 64%, 84% e 17% são exportados para o grão. Esses valores de extração e exportação de N e K foram próximos aos encontrados no presente trabalho, porém, os valores de extração de P foram mais baixos (64 kg de P).

Valderrama *et al.* (2011) verificaram aumento linear do número de grãos até a dose de 120 kg ha⁻¹ de K₂O. Sangoi *et al.* (2007) observaram que o maior número de grãos por espiga foi característica definida em grande parte pelo híbrido. Portanto, além da nutrição, o híbrido correto deve ser selecionado na busca do maior número de grãos e, por conseguinte, maior produtividade.

Santos *et al.* (2013) observaram incrementos lineares na matéria seca foliar em função das doses de N aplicadas tanto em sistema de plantio convencional quanto sistema de plantio direto, assim como nos teores e conteúdos foliares de N em ambos os sistemas de cultivo. Esses autores verificaram incrementos em produtividade com a aplicação de até 340 kg ha⁻¹ de N em áreas de alta fertilidade com a obtenção de produtividades próximas a 17 t ha⁻¹.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os acúmulos de N, P, K e S em grãos e extração total tiveram efeitos positivos na produtividade da cultura do milho. A massa de mil grãos foi o componente de produtividade mais importante na definição da produtividade. A extração e exportação de N, P, K e S aumentam linearmente com o aumento da produtividade.

Os resultados fornecem dados importantes sobre a absorção e partição de nutrientes dos híbridos atuais e permitem aprimorar as recomendações de adubação para produção de grãos de milho. As informações obtidas indicam a relação linear no aumento da extração de N, P e K pelo milho para aumentar a produtividade de grãos até aproximadamente 18 t ha⁻¹. Além da adoção de boas práticas de rotação de

culturas, da qualidade do solo, operações mecanizadas e da escolha de híbridos de milho com alto potencial produtivo e adaptados ao ambiente de cultivo, deve haver atenção especial às adubações para o incremento de produtividade do milho nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.
- BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 161-170, 2013.
- BORGHI, E.; MELLO, L. M. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Adubação por área e por planta, densidade populacional e desenvolvimento do milho em função do sistema de manejo do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 337-345, 2004.
- BRITO, M. E. B.; DE ARAÚJO FILHO, G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; DE MELO, A. S.; DA COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2017/18 - Sétimo levantamento, Brasília, 2018. p. 1-139. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 20 abr. 2018
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.
- 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**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007.

GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 11, p. 1110-1115, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E. (ed.). Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: Potafos, 1997. p. 115-230.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade de nutrientes em plantas de milho cultivado em talhão manejado homogeneamente. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 969-976, 2008.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CÔRREA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagens de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 53, n. 3; p. 683-690, 2006.

SANGOI, L.; BERNS, A. C.; ALMEIDA, M. L.; ZANIN, C. G.; SCHWEITZER, C. Características agrônômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1564-1570, 2007.

SANTOS, L. P. D.; AQUINO, L. A.; NUNES, P. H. M. P.; XAVIER, F. O. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 270-279, 2013.

SETIYONO, T. D.; WALTERS, D. T.; CASSMAN, K. G.; WITT, C.; DOBERMANN, A. Estimating maize nutrient uptake requirements. **Field Crops Research**, Canberra, v. 118, n. 2, p. 158-168, 2010.

SICHOCKI, D.; GOTT, R. M.; FUGA, C. A. G.; AQUINO, L. A.; RUAS, R. A. A.; NUNES, P. H. P. M. Resposta do milho safrinha a doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 34, n. 6, p. 1404-1411, 2014.

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**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

ZÖRB, C.; T SENBAYRAM, M.; PEITERC, E. Potassium in agriculture - Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, Parkville, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

Recebido em: 16/08/2017

Aceito em: 20/07/2018