

Extração de nutrientes e produtividade de genótipos de milho afetados por níveis de palha

João Carlos de Moraes Sá¹, Ademir de Oliveira Ferreira^{2*}, Clever Briedis³, Ângelo Marcio Vieira⁴ e André Gradowski de Figueiredo⁵

¹Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Departamento de Manejo e Conservação do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. ³Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. ⁴Coamo Agroindustrial Cooperativa, Coronel Vivida, Paraná, Brasil. ⁵Monsanto do Brasil Ltda., Departamento de Tecnologia, São Paulo, São Paulo, Brasil.

*Autor para correspondência. E-mail: aoferreira1@yahoo.com.br

RESUMO. Em um Latossolo Vermelho argiloso, localizado no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, foi avaliada a extração de nutrientes e a produtividade de genótipos de milho, submetidos a níveis de palha no sistema plantio direto. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso dispostos em parcelas subdivididas com três repetições. A parcela foi constituída por três níveis de palha na superfície do solo (sem palha; 5,0 e 10,0 t ha⁻¹) e a subparcela foi constituída por genótipos de milho (13 genótipos). A ordem do ganho relativo na extração total de nutrientes em relação a 5,0 e 10,0 t ha⁻¹ de palha foi K > P > N, cujos valores foram de 30,4 e 47,1; 17,6 e 26,4 e 5,4 e 11,3%, respectivamente. Os genótipos de milho apresentaram comportamento diferenciado em relação à extração de nutrientes e à produtividade de grãos, em função da adição de quantidades de palha de aveia-preta na superfície do solo, em sistema de plantio direto em fase inicial. O aumento na quantidade de palha na superfície do solo não afetou significativamente a média geral de produtividade do experimento. O aumento na quantidade de palha na superfície do solo resultou em maior extração total de N, P e K, embora não tenha afetado a extração total dos elementos Ca, Mg e S pela planta de milho. A ordem decrescente na extração de nutrientes pelos genótipos pela adição de quantidades de palha foi: K > P > N > S > Ca=Mg.

Palavras-chave: cobertura do solo, *Zea mays*, plantio direto.

ABSTRACT. Extraction of nutrients and yield of corn genotypes affected by levels of straw. In a clayey Red Latosol, located in Ponta Grossa – Paraná State, the nutrient uptake and yield of corn genotypes was evaluated, affected by levels of black oat crop residues in no-tillage. The experimental design was a randomized block design arranged in split-plot with three replications. The plot consisted of three levels of black oat crop residues maintained on the soil surface (without straw, 5.0 and 10.0 ton. ha⁻¹), and the subplots comprised of 13 corn genotypes. The order of the gain on the total uptake of nutrients compared to 5.0 and 10.0 ton. ha⁻¹ straw was K> P> N, with values of 30.4 and 47.1, 17.6 and 26.4, and 5.4 and 11.3%, respectively. The genotypes differed significantly for nutrient uptake and grain yield, due to the added amounts of black oat crop residue on soil surface in no-tillage system in the initial phase. The increase of crop residue amount on the soil surface did not affect the mean yield of the experiment. The increase in the amount of crop residue on the soil surface resulted in greater total uptake of N, P and K, but did not affect the total uptake of Ca, Mg and S by corn plants. The order in nutrient uptake by the genotypes because affected by crop residue addition was: K> P> N> S> Ca = Mg.

Keywords: soil cover, *Zea mays*, no-tillage.

Introdução

Atualmente no Brasil, a área cultivada com o sistema plantio direto (SPD) é cerca de 25,5 milhões de hectares (DERPSCHE et al., 2010). Inúmeros trabalhos têm constatado maior eficiência desse sistema de manejo do solo em relação ao preparo convencional na

melhoria de propriedades físicas, químicas e biológicas, além do maior retorno econômico.

Nas décadas dos 80 e 90, o principal questionamento na área de solos foi sobre o manejo da fertilidade, destacando modo de aplicação de fertilizantes, o uso de nitrogênio e a correção da acidez do solo (CAIRES et al., 2002; SÁ et al., 2007).

Um dos requisitos para o sucesso do plantio direto é uma adequada cobertura do solo, a qual evita a ação nociva do impacto da gota da chuva (FERREIRA et al., 2010), propicia bom controle de ervas daninhas e incremento uniforme de matéria orgânica no solo. Esses fatores, conjuntamente, atuam melhorando as características químicas, físicas e biológicas, com reflexos na qualidade do solo e na estabilização da produção (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009, 2011). O sucesso desse sistema de cultivo é dependente da rotação de culturas e, principalmente, da produção de palhada, sendo um reservatório de nutrientes liberados paulatinamente pela ação dos microrganismos, e contribuindo para o aumento da estabilidade estrutural e proteção do solo contra a erosão hídrica (FRANCHINI et al., 2000). Outro fator determinante do sucesso do sistema de plantio direto é a escolha da espécie de cobertura do solo, será ela com seus benefícios intrínsecos que proporcionará maior ou menor ciclagem de nutrientes benéficos à cultura em sucessão. Dentre as principais características buscadas, as plantas utilizadas como fonte de cobertura vegetal devem proteger o solo e melhorar as suas características físicas, químicas e biológicas para a cultura subsequente, contribuindo com o suprimento de nitrogênio, incrementando assim o rendimento de grãos (AMADO et al., 2000; AITA et al., 2001, AITA; GIACOMINI, 2003; TORRES et al., 2005). Algumas espécies merecem destaque por seus benefícios físico-químicos ao solo, entre elas a aveia-preta, a ervilhaca-peluda e o nabo-forageiro, como plantas antecessoras de inverno (AMADO et al., 2000; CERETTA et al., 2002; MARTINS et al., 2005).

O milho, pela sua alta produção de matéria seca e elevada relação C/N, é uma cultura chave para o sucesso do plantio direto (SÁ et al., 2001; FERREIRA et al., 2009). Do ponto de vista nutricional, ela é considerada exigente e o suprimento de nutrientes em quantidade adequada é um ponto chave para aumentar a produtividade desta cultura (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000). A quantidade de nutrientes extraídos dependerá da produtividade obtida e do acúmulo de nutrientes nos grãos e em outras partes da planta (POLLMER et al., 1979). De maneira geral, as extrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) aumentam com o acréscimo da produtividade. O N é o nutriente absorvido em maior quantidade (FERNANDES

et al., 2005), seguido do K, P, Ca e Mg (VASCONCELLOS et al., 1998).

Diversos trabalhos mostraram o efeito da mineralização dos resíduos culturais no acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo influenciando as culturas em rotação (SÁ et al., 2001, 2007). Recentemente, Ferreira et al. (2009) reportaram que genótipos de milho apresentam comportamento diferenciado no aproveitamento do nitrogênio mineralizado da palha e no comprimento radicular quando submetidos a diferentes quantidades de palha de aveia preta na superfície do solo.

Este trabalho testa a hipótese de que quanto maior a quantidade de palha, maior a extração de nutrientes, conseqüentemente maior a produtividade da cultura de milho em sistema de plantio direto. O objetivo do trabalho foi avaliar a extração de nutrientes e produtividade de genótipos de milho, submetidos a níveis de palha no sistema plantio direto.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Monsanto do Brasil, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, situada na cidade de Ponta Grossa, região Centro-Sul do Estado do Paraná, cujas coordenadas geográficas de referência são: 50° 20' W e 25° 20' S. A área experimental situa-se a 970 m acima do nível do mar, sob o clima subtropical úmido, mesotérmico, do tipo cfb (classificação de Koeppen). A precipitação média anual e a temperatura média anual referente aos anos agrícolas do experimento foram, respectivamente, de 1.338 mm e 18,7°C. O relevo caracteriza-se como suave ondulado com pendentes entre 2-7 cm m⁻¹ de declividade.

O material de origem é constituído por sedimentos clássicos do período Devoniano, caracterizados por materiais retrabalhados de arenitos da formação Furnas e folhelhos da formação Ponta Grossa. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho (Typic Hapludox), textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Esses solos apresentam baixa fertilidade natural e possuem elevado conteúdo de Al trocável.

Antes do início da exploração agrícola, a área estava sob a vegetação natural, denominada de "Campos Nativos". A conversão desses campos em áreas de cultivo iniciou na década dos anos 1980 e durante os primeiros 12 anos foram cultivados sob o sistema de preparo convencional com as culturas de trigo e soja em sucessão. Nos últimos seis anos foi adotado o sistema plantio direto, e a rotação de

culturas praticada na gleba foi constituída pela sequencia das seguintes culturas: aveia preta/soja/trigo/soja/aveia preta/milho. A cultura antecessora ao milho foi aveia preta utilizada para a formação de cobertura vegetal.

O delineamento experimental foi constituído em blocos ao acaso com arranjo em parcelas subdivididas com três repetições. A parcela foi representada pela quantidade de resíduos culturais de aveia preta (*Avena strigosa*) – denominado de palha, mantidos na superfície do solo: 0; 5,0 e 10,0 t ha⁻¹. A subparcela foi constituída por 13 genótipos de milho: DKB 212, DKB 214, DKB 215, AG 6018, AG 9020, DKB 350, DKB 747, MTC 907, MTC 955, DKB 909, EX 1104, EX 3308 e EX 1108. A parcela com 5,0 t ha⁻¹ representa a quantidade de palha (parte aérea) obtida em todo o talhão e calculada pela média de dez pontos de amostragem no momento da instalação do experimento para determinação da massa seca. A parcela sem palha foi constituída a partir da remoção de toda a palha que estava na superfície do solo após o corte das plantas rente ao solo. Utilizou-se um rastelo de hastes de aço flexível para remover a palha a fim de evitar o revolvimento e a alteração da estrutura do solo da camada superficial. A parcela com 10,0 t ha⁻¹ foi obtida transferindo a palha removida da parcela denominada sem palha para a parcela com 5,0 t ha⁻¹. A dimensão das parcelas era de 10,0 x 41,6 m e das subparcelas de 10,0 m de comprimento e seis linhas para cada genótipo. A distribuição e a uniformização da palha na parcela foram realizadas dez dias após a aplicação do herbicida glyphosate na dose de 2,0 L ha⁻¹ para dessecação da cobertura vegetal. O intervalo entre a dessecação e a semeadura de milho foi de 30 dias.

A semeadura foi realizada manualmente com auxílio de matracas colocando duas sementes por cova nos sulcos espaçados em 0,80 m entre si e abertos por uma semeadora. A adubação no sulco foi com 360 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 10-20-20 + 1%

Zn. Após a semeadura foi aplicada nova dose de glyphosate para o controle de ervas remanescentes da dessecação da cultura de aveia preta. A profundidade de deposição do fertilizante foi ao redor de 12 cm e a profundidade de semeadura de 4 a 5 cm. Aos 15 dias após a emergência foi realizado o desbaste eliminando uma das plantas para manter a população final de 57.500 plantas ha⁻¹. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada no estágio V₂ e V₆, utilizando-se 150 e 100 kg ha⁻¹ de ureia, respectivamente. A quantidade total de N aplicado (sulco de semeadura + cobertura) foi de 148,5 kg ha⁻¹, quantidade acima da recomendada para a cultura do milho, mas que nesse caso serviu para amenizar o efeito da palha no comportamento dos genótipos em relação à imobilização do nitrogênio durante sua decomposição. O controle das plantas daninhas foi realizado com o uso de herbicidas do grupo químico atrazina.

No estágio de florescimento pleno da cultura do milho, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 e 90-100 cm para fins de avaliação da fertilidade do solo (Tabela 1).

A coleta de plantas para avaliação da massa seca e extração de macronutrientes foi realizada na maturidade fisiológica, coletando-se duas plantas por unidade experimental as quais foram subdivididas em três partes (folha, colmo e espiga). Na coleta das plantas foram tomados os cuidados para manter o material livre de impurezas oriundas do campo, principalmente terra, estas mesmas plantas foram utilizadas na determinação de macronutrientes dos tecidos, após a obtenção da massa seca. Antes da colocação na estufa para secagem, foram lavadas com água deionizada, procurando retirar a poeira existente no material, evitando com isso interferência nos resultados de extração de macronutrientes. As plantas, após a lavagem, foram secadas à sombra por aproximadamente 24h, em sala ventilada.

Tabela 1. Resultados da análise química e granulométrica do solo em amostras coletadas em trincheiras escavadas nas subparcelas no estágio de florescimento pleno dos híbridos de milho (média das três repetições), em janeiro de 2002¹.

Prof. cm	pH CaCl ₂	C g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	Al	H+Al	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg	K	CTC	V %	Al %	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila
0-10	5,0	25,0	2,8	0,1	7,1	4,3	2,9	0,2	14,4	51	0,7	390	197	413
10-20	4,6	20,0	1,7	0,4	8,7	2,2	1,8	0,2	12,8	32	8,9	397	209	393
20-30	4,3	13,5	1,1	0,8	9,7	0,7	1,3	0,1	11,8	18	27	373	214	413
30-40	4,4	12,5	1,1	0,5	8,7	0,9	1,1	0,1	10,7	19	20	344	216	440
40-50	4,6	14,5	1,2	0,4	7,8	1,2	1,2	0,1	10,2	24	14	328	216	457
50-60	4,7	15,0	1,3	0,3	7,1	1,3	1,3	0,1	9,7	27	10	322	215	463
60-70	4,7	10,0	1,3	0,3	6,9	1,2	1,1	0,1	9,2	25	9,8	319	217	463
70-80	4,7	8,5	1,3	0,2	6,5	0,9	1,0	0,0	8,3	22	7,3	309	201	490
80-90	5,0	7,0	1,4	0,0	5,4	0,8	0,9	0,0	7,1	24	0,0	312	218	470
90-100	5,0	7,0	1,4	0,0	5,2	0,8	1,1	0,0	7,0	27	0,0	313	227	460

¹As análises químicas e físicas foram realizadas utilizando metodologia descrita por Embrapa (1979).

Após esse período de pré-secagem, para eliminação da umidade oriunda da lavagem do material, as plantas (subdivididas) foram acondicionadas em estufa de circulação de ar, ajustada para a temperatura de 64°C, até a obtenção do peso constante (aproximadamente 72h). Em seguida foi realizada a pesagem em balança digital.

O material seco e com a massa já quantificada foi moído em triturador específico para preparação de materiais para extração de nutrientes. Desse material triturado, devidamente separado em folha, colmo e espiga, foram retiradas as amostras para encaminhamento ao Laboratório para determinação dos macronutrientes dos tecidos. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas – Esalq/USP.

Foram determinados o N, P, K, Ca, Mg e S no tecido de folhas, colmos e grãos. A palha da espiga mais o sabugo não foram triturados para quantificação de sua composição, porém suas massas secas foram consideradas no valor da massa seca do colmo. A extração total foi baseada na concentração do elemento no tecido vegetal e convertido para kg ha⁻¹ em função da massa seca da cada componente (folha, colmo e espiga).

Os resultados foram submetidos à análise de Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o software SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2007) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Resultados e discussão

As variáveis produtividade, extração de N, P, K, Ca, Mg e S apresentaram interação significativa entre quantidade de palha x genótipo (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância da produtividade (kg ha⁻¹) e extração total (folha + colmo + espiga) de nutrientes (kg ha⁻¹) em razão da quantidade de palha e dos genótipos em um Latossolo Vermelho distrófico, após seis anos de plantio direto.

Causas de variação	Produtividade	Nutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Quantidade de palha	n.s	*	*	*	n.s	n.s	*
Genótipo	*	*	*	*	*	*	*
Quantidade de palha x genótipo	*	*	*	*	*	*	*
C.V.(%)	13,40	9,172	7,323	7,014	4,4010	10,834	9,99

“Não-significativo. *Significativo a 5% de probabilidade.

Dois efeitos podem ter contribuído para a maior extração desses nutrientes: a) a liberação gradual desses elementos durante o processo de decomposição dos resíduos de aveia resultando no aumento da disponibilidade para as plantas de milho (FERREIRA et al., 2009; SÁ et al., 2007). De acordo Aita e Giacomini (2003) cerca de 50 a 60% do N, P,

K, Mg e S são liberados entre 60 a 90 dias após iniciar a decomposição dos resíduos de aveia. Dessa forma, haverá maior oferta durante o pico de demanda pela cultura do milho que ocorre nos estádios V6 a Vn (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; SÁ et al., 2007); b) a redução das perdas de água por evaporação pela proteção física da superfície do solo com a palhada proporcionou a manutenção do solo úmido por períodos mais longos favorecendo a absorção de nutrientes.

A produtividade média geral dos experimentos (média dos dois anos agrícolas, 2001/2002 e 2002/2003) foi de 12.587 kg ha⁻¹ e não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Em contraste, a comparação entre genótipos dentro de cada nível de palha revelou comportamento diferenciado de genótipos em relação à quantidade de palha na superfície (Tabela 3).

O genótipo DKB 215 apresentou aumento significativo na produtividade com a adição de maior quantidade de palha (Tabela 3). Já o genótipo AG 6018, assim como os demais, não apresentaram aumento significativo na produtividade com a adição de palha, contradizendo dados obtidos por Ferreira et al. (2009), que observaram incremento na produtividade desse genótipo com a adição palha. Por outro lado, Andrade et al. (1975) demonstraram que a acumulação diferencial de matéria seca na parte vegetativa não se traduziu necessariamente em aumento de produção de grãos.

O genótipo DKB 215 se destacou dos demais em produtividade possivelmente por se tratar de um genótipo com ciclo mais longo se comparado aos demais, o que permitiu maior aproveitamento do N mineralizado da palha (Tabela 4). De acordo com Sá et al. (2007), a adição de elevada quantidade de palha de aveia preta com relação C/N entre 28 a 32 aumenta a biomassa microbiana, proporcionando a reutilização do N mineralizado da palha. Conforme Victoria et al. (1992), a adição de quantidades elevadas de resíduos culturais com alta relação C:N (Aveia preta, Milho, Milheto etc.) torna aos microrganismos quimiorganotróficos gradativamente ativos, multiplicando-se e produzindo CO₂ em grandes quantidades. Nestas condições, o nitrato praticamente desaparece do solo, o mesmo devendo ocorrer com o amônio, se presente. Durante certo período, a cultura em desenvolvimento terá pouca ou nenhuma disponibilidade de N mineral para o seu desenvolvimento, causando um estresse com a carência de N no sistema. Em consequência, há carência de N nos estádios iniciais de

desenvolvimento do milho e é possível que este genótipo tenha maior sensibilidade e necessidade de maior quantidade de N para compensar esse efeito. Entretanto, a continuidade do processo de decomposição diminui a relação C:N do solo, uma vez que o C está sendo perdido na forma de CO₂ e o N conservado pela formação da massa celular microbiana.

Tabela 3. Produtividade (kg ha⁻¹) dos diferentes genótipos em função da quantidade de palha num Latossolo Vermelho distrófico após seis anos de plantio direto¹.

Genótipos	Quantidade de palha (Mg ha ⁻¹)		
	0	5,0	10,0
----- Produtividade (kg ha ⁻¹) -----			
DKB 212	12510 Aba	11675 Aa	11441 Aa
DKB 214	12350 Aba	12818 Aa	12239 Aa
DKB 215	8211 Bb	11896 Aa	11568 Aa
AG 6018	12473 Aba	13046 Aa	13082 Aa
AG 9020	11014 Aba	11428 Aa	12072 Aa
DKB 350	11453 Aba	12005 Aa	12761 Aa
DKB 747	11375 Aba	12210 Aa	11477 Aa
MTC 907	12996 Aa	13232 Aa	12611 Aa
MTC 955	12516 Aba	12877 Aa	12398 Aa
DKB 909	12426 Aba	12372 Aa	13110 Aa
EX 1104	13143 Aa	13278 Aa	12929 Aa
EX 3308	13552 Aa	13829 Aa	14011 Aa
EX 1108	14263 Aa	14437 Aa	13390 Aa

¹Médias com letras iguais, maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos dois anos agrícolas (2001/2002 e 2002/2003).

A quantidade de palha na superfície afetou a extração total de N, P, K e S (Tabela 2) e o aumento na quantidade de palha na superfície resultou na maior extração total de N, P, K e S, e não afetou a extração total dos elementos Ca e Mg. Dados semelhantes foram obtidos por Amado et al. (2002) e Santi et al. (2003) ao observar que quando a matéria seca da aveia é maximizada pelo incremento de N ressaltou num elevado potencial de ciclagem de nutrientes da mesma.

De acordo com Sá et al. (2007), a liberação de N e P pela decomposição dos resíduos culturais de aveia preta é um processo lento e gradual e a maior parte não coincide com o período de maior demanda pela planta, o que denota a importância do manejo da adubação com esses elementos. Por outro lado, cerca de 80% do K dos resíduos culturais da aveia preta é liberado durante o ciclo do milho (HOLTZ; SÁ, 1995). A quantidade de K reciclada pelos resíduos culturais de aveia preta é expressiva e atinge valores superiores a 110 kg ha⁻¹. Estes resultados sugerem que a planta de milho cultivada em solo coberto tende a extrair maior quantidade de nutrientes (N, P, K e S), aumentando a reciclagem do resíduo da cultura após a retirada dos grãos. Neste caso, a grande quantidade de K liberado dos resíduos culturais, associado aos efeitos da palha sobre a superfície (HOLTZ; SÁ, 1995), resultou no

aumento da extração total do elemento. A razão é associada ao fato da aveia-preta disponibilizar, logo após o manejo, maior quantidade de nutrientes que outras espécies (ROSOLEM et al., 2003, 2007), favorecendo o maior aproveitamento de K pela cultura subsequente.

No tratamento sem palha, o genótipo AG 9020 apresentou menor extração total de N se comparado com os genótipos DKB 350, MTC 907 e EX 1104. Isso ocorreu provavelmente por este genótipo apresentar um ciclo mais curto que os demais resultando no menor aproveitamento do N mineralizado da palha. Dessa forma, é um genótipo que necessita de maior quantidade de N disponível na fase inicial de desenvolvimento quando submetido a conteúdo elevado de palhada (FERREIRA et al., 2009). Os maiores incrementos na extração total de N com a adição de quantidades de palha na superfície do solo ocorreram em seis genótipos DKB 215, AG 6018, DKB 350, DKB 747, MCT 955 e EX 3308 (Tabela 4). Para os genótipos DKB 215, AG 6018 e DKB 350, a maior extração ocorreu com a adição de 10 t ha⁻¹ de palha enquanto para os genótipos DKB 747, MCT 955 e EX 3308 a adição de 5 t ha⁻¹ foi suficiente. O ambiente desenvolvido pela adição e manutenção da palha na superfície provocou maior estímulo para o desenvolvimento radicular (SÁ et al., 2007; FERREIRA et al., 2009) e em consequência maior capacidade na absorção e acúmulo de nutrientes nas plantas de milho. Esses argumentos podem ser suportados pelo comportamento em relação à extração de P (Tabela 4), uma vez que oito genótipos (DKB 214, DKB 215, AG 6018, DKB 350, DKB 747, MTC 907, EX 1104 e EX 1108) responderam ao aumento da quantidade de palha. Na média dos genótipos DKB 214, MTC 907 e EX 1104, a adição de 5 t ha⁻¹ de palha resultou no aumento de 31,87% na extração de P, enquanto na média dos genótipos DKB 215, AG 6018, DKB 350, DKB 747 e EX 1108 com adição de 10 t ha⁻¹, observou-se incremento na extração de P em 47,95%, indicando que a melhoria das condições no ambiente radicular favoreceu maior absorção de P, uma vez que este elemento é de baixa mobilidade no solo. Além disso, a liberação de compostos orgânicos durante a decomposição dos resíduos de aveia preta pode ter auxiliado na redução da adsorção de P (SÁ, 2004). Este mecanismo pode ser explicado pelo efeito do recobrimento dos colóides do solo reduzindo o número de sítios de adsorção de P. A menor superfície de contato do íon fósforo com os colóides do solo pela

ausência de revolvimento e associado à ação de compostos mais recalcitrantes como as ligninas que favorecem na formação de complexos argila-húmus têm resultado em maior disponibilidade de P ao sistema.

A resposta ao K foi ainda superior ao N e P porque este elemento não forma um constituinte orgânico nas plantas e é facilmente liberado ao solo com a fragmentação dos resíduos e com lavagem pela água da chuva. Considerando a média dos 13 genótipos (Tabela 4), a adição de 5 t ha⁻¹ de palha indica aumento de 30,81% na extração de K, enquanto com 10 t ha⁻¹, observou-se um incremento na extração de K em 45,66%.

A aveia preta é uma planta com elevada capacidade de extração e reciclagem de potássio (ROSOLEM et al., 2003, 2007) promovendo maior oferta de K ao solo para a cultura sucessora. Além disso, o potássio é um elemento móvel no solo, embora quase 80% da sua absorção sejam pelo mecanismo de difusão e uma parte por interceptação radicular favorecendo a maior extração.

Em relação à extração de cálcio (Tabela 5), os treze genótipos avaliados não foram afetados pela adição de quantidades de palha e, em relação ao magnésio, 11 genótipos tiveram esse mesmo comportamento (DKB 212, DKB 214, DKB 215, AG 6018, AG 9020, DKB 350, DKB 747, MTC 907, MTC 955, DKB 909 e EX 1104), corroborando com os resultados reportados por Andrade et al. (1975) que demonstraram não haver diferenças significativas em relação às extrações desses nutrientes.

O motivo da ausência de resposta dos genótipos pode estar associado ao conteúdo de Ca + Mg no solo acima do nível crítico para a cultura do milho e ao retorno desses elementos pela ciclagem dos resíduos não ser expressivo.

A adição de quantidades de palha (Tabela 5) proporcionou aumento significativo na extração de enxofre em apenas quatro genótipos (genótipos DKB 214, DKB 350, EX 3308 e EX 1108). A ordem decrescente de resposta dos genótipos à adição de quantidades de palha foi K > P > N > S > Ca = Mg.

Tabela 4. Extração total de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (kg ha⁻¹) em função da interação quantidade de palha x genótipo, em um Latossolo Vermelho distrófico, após seis anos de plantio direto¹.

Genótipos	Quantidade de palha (Mg ha ⁻¹)								
	0			5			10		
	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)			Fósforo (kg ha ⁻¹)			Potássio (kg ha ⁻¹)		
DKB 212	234,17 ABa	247,80 ABCa	247,67 ABa	33,80 ABa	31,60 EFa	33,30 EFa	117,14 Ab	172,50 ABb	246,17 ABa
DKB 214	228,07 ABa	239,37 ABCa	269,23 ABa	36,20 ABb	43,47 ABCDa	38,50 CDEab	155,94 Ab	167,77 ABb	246,00 ABa
DKB 215	238,73 ABb	237,70 ABCb	287,73 Aa	35,50 ABb	34,44 DEFb	52,44 Aa	150,53 Ab	189,00 ABb	266,04 Aa
AG 6018	221,77 ABb	226,37 BCb	293,10 Aa	33,04 ABb	39,94 BCDEab	42,77 BCDa	140,07 Aa	189,64 ABa	191,00 ABCa
AG 9020	188,43 Ba	216,73 Ca	219,77 Ba	28,27 Ba	28,07 Fa	29,10 Fa	142,87 Aa	151,90 Ba	157,97 Ca
DKB 350	254,40 Aab	250,23 ABCb	297,43 Aa	31,00 Abc	44,67 ABCb	53,40 Aa	120,27 Ab	166,10 ABab	186,90 ABCa
DKB 747	237,53 ABab	221,50 Cb	270,77 ABa	35,37 ABb	35,20 DEFb	49,27 ABa	124,44 Ab	165,07 ABab	200,80 ABCa
MTC 907	283,17 Aa	281,73 ABCa	268,17 ABa	39,40 Ab	47,90 ABa	37,27 DEFb	147,80 Ab	212,37 ABa	171,80 BCab
MTC 955	237,67 ABb	290,53 ABa	256,63 ABab	31,97 ABa	37,84 CDEa	33,57 DEFa	134,60 Ab	246,34 Aa	149,77 Cb
DKB 909	247,77 ABa	237,63 ABCa	257,10 ABa	37,37 ABa	36,60 CDEFa	38,37 CDEFa	138,00 Ab	199,77 ABa	186,27 ABCab
EX 1104	261,70 Aa	261,03 ABCa	291,47 Aa	37,00 ABb	49,06 ABa	46,94 ABCa	186,00 Aa	191,04 ABa	204,84 ABCa
EX 3308	241,07 ABb	297,30 Aa	285,83 Aab	29,27 Bb	51,77 Aa	48,77 ABa	141,30 Ab	173,27 ABab	223,14 ABCa
EX 1108	229,46 ABa	269,53 ABCa	274,70 ABa	35,94 Abc	43,74 ABCDb	54,90 Aa	109,23 Ab	140,67 Bb	203,20 ABCa
Média	238,76 b	252,11 ab	270,74 a	34,16 b	40,33 ab	42,97 a	139,09 b	181,95 a	202,60 a

¹Médias com letras iguais, maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas (dentro de cada nutriente), não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos dois anos agrícolas (2001/2002 e 2002/2003).

Tabela 5. Extração total de Cálcio, Magnésio e Enxofre (kg ha⁻¹) em função da interação quantidade de palha x genótipo, em um Latossolo Vermelho distrófico, após seis anos de plantio direto¹.

Genótipos	Quantidade de palha (Mg ha ⁻¹)								
	0			5			10		
	Cálcio (kg ha ⁻¹)			Magnésio (kg ha ⁻¹)			Enxofre (kg ha ⁻¹)		
DKB 212	27,74 BCa	22,07 Ba	23,50 BCa	45,47 ABCDEa	40,84 CDa	42,97 CDa	17,80 ABa	20,30 Aa	18,50 DEa
DKB 214	23,93 Ca	24,47 Ba	29,07 BCa	49,47 ABCDEa	56,30 ABCDa	48,84 BCDA	17,47 ABb	21,60 Aa	23,24 ABCa
DKB 215	25,04 BCa	22,10 Ba	21,37 Ca	39,84 DEa	41,40 CDa	52,47 ABCDa	21,44 Ab	19,27 Ab	25,97 Aa
AG 6018	27,17 BCa	23,24 Ba	28,07 BCa	45,07 BCDEa	45,47 BCDA	51,04 ABCDa	18,17 ABa	17,30 ABa	20,40 BCDa
AG 9020	31,84 BCa	30,17 ABa	29,60 BCa	37,77 DEa	38,37 Da	39,44 Da	15,20 Ba	14,34 Ba	14,70 Ea
DKB 350	47,70 Aab	40,74 Ab	53,27 Aa	57,10 ABCDa	58,70 ABCa	69,40 Aa	18,30 ABb	17,84 ABb	23,97 ABa
DKB 747	34,00 BCa	31,53 ABa	36,40 Ba	64,87 Aa	55,77 ABCDa	65,94 ABa	17,90 ABa	18,50 ABa	19,94 BCDa
MTC 907	38,24 ABa	40,34 Aa	33,54 BCa	59,37 ABCa	66,54 Aa	58,97 ABCa	19,60 ABa	17,54 ABa	19,27 CDEa
MTC 955	29,54 BCa	31,40 ABa	27,14 BCa	49,50 ABCDEa	50,57 ABCDa	45,70 CDa	18,60 ABa	18,70 ABa	16,70 DEa
DKB 909	23,17 Ca	19,97 Ba	24,54 BCa	48,10 ABCDEa	45,87 BCDA	42,57 CDa	20,47 Aa	17,57 ABab	17,20 Deb
EX 1104	29,44 BCa	29,40 ABa	31,24 BCa	62,30 ABa	60,14 ABCa	50,37 ABCDa	21,00 Aa	21,70 Aa	21,34 ABCDa
EX 3308	22,44 Ca	28,27 ABa	26,34 BCa	41,47 CDEb	62,74 ABa	59,00 ABCa	17,50 ABb	18,27 ABab	21,34 ABCDa
EX 1108	22,90 Ca	30,04 ABa	35,77 Ba	32,77 Eb	41,97 CDab	49,04 BCDa	17,44 ABb	19,47 Aab	20,77 BCDa
Média	29,47 a	28,74 a	30,75 a	48,7 a	51,13 a	51,98 a	18,53 a	18,64 a	20,25 a

¹Médias com letras iguais, maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas (dentro de cada nutriente), não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos dois

anos agrícolas (2001/2002 e 2002/2003).

Conclusão

Os genótipos de milho apresentam comportamento diferenciado em relação à extração de nutrientes e à produtividade de grãos, em função da adição de quantidades de palha de aveia-preta na superfície do solo, em sistema de plantio direto em fase inicial.

O aumento na quantidade de palha na superfície do solo não afetou significativamente a média geral de produtividade do experimento.

O aumento na quantidade de palha na superfície do solo resultou em maior extração total de N, P, K e S, embora não tenha afetado a extração total dos elementos Ca e Mg pela planta de milho.

A ordem decrescente na extração de nutrientes pelos genótipos por adição de quantidades de palha foi: $K > P > N > S > Ca = Mg$.

Agradecimentos

À Empresa Monsanto do Brasil Ltda., pelo apoio financeiro.

Referências

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

AMADO, T. J. C.; MILENICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.

ANDRADE, A. G.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D.; SARRUGE, J. R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.). I. Acúmulo de macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 32, n. 1, p. 115-149, 1975.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1011-1022, 2002.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; LI, H. W. Current status of adoption of no-till farming in the World and some of its main benefits. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 3, n. 1, p. 1-25, 2010.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço nacional de levantamento e conservação de solos**. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; FIGUEIREDO, A. G. Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 173-179, 2009.

FERREIRA, A. O.; GONZATTO, R.; MIOLA, A.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. Influência da declividade e de níveis de cobertura do solo no processo de erosão com chuva simulada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 182-190, 2010.

FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar.exe**: sistema de análise de variância. Lavras: UFLA, 2007.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GUADÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistema de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.

HOLTZ, G. P.; SÁ, J. C. M. Resíduos orgânicos: reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: FUNDAÇÃO ABC. (Ed.). **Curso de manejo do solo no sistema de plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1995. p. 14-30.

MARTINS, R. M. G.; ROSA JUNIOR, E. J. Culturas antecessoras influenciando a cultura de milho e os atributos do solo no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 2, p. 225-232, 2005.

POLLMER, W. G.; EBERHARD, D.; KLEIN, D.; DHILLON, B. S. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize. **Crop Science**, v. 19, n. 1, p. 82-86, 1979.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S.

- S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.
- ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; GARCIA, R. A. Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milho após dessecação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1169-1175, 2007.
- SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Org.). **Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2004. v. 1. p. 201-222
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, A. W.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Soil organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 1, p. 1486-1499, 2001.
- SÁ, J. C. M.; SANTOS, J. B.; CARDOSO, E. G.; SIUTA JÚNIOR, D.; FERREIRA, C. F.; FERREIRA, A. O.; MASSINHAM, A.; SÁ, M. F. M. Manejo de fertilizantes nitrogenados em sistemas de produção envolvendo os cultivos de soja/trigo e soja/milho safrinha no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. v. 1. p. 567-649.
- SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1075-1083, 2003.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, A.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609-618, 2005.
- VASCONCELLOS, C. A.; VIANA, M. C. M.; FERREIRA, J. J. Acumulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período de inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 11, p. 1835-1845, 1998.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, K. Uma visão sobre a quantidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, K. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.
- VICTORIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 105-120.

Received on June 19, 2008.

Accepted on September 17, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.