

INCORPORAÇÃO MECÂNICA DE COMPOSTO ORGÂNICO E PRODUTIVIDADE DO MILHO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO ORGÂNICO

LUIZ FERNANDO FAVARATO¹, JOÃO CARLOS CARDOSO GALVÃO², CAETANO MARCIANO DE SOUZA², HAROLDO CARLOS FERNANDES², DARLAN NASCENTES CUNHA² e GUILHERME DE SOUSA PAULA²

¹Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Domingos Martins, ES, Brasil, luz.favarato@incaper.es.gov.br

²Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, jgalvao@ufv.br; cmsuoz@ufv.br; darlannc@yahoo.com.br; guilherme_825@hotmail.com, haroldo@ufv.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.12, n.2, p. 138-151, 2013

RESUMO - Uma das dificuldades do sistema de plantio direto orgânico é em relação à adubação orgânica, feita na superfície do solo, que diminui o aproveitamento de nutrientes pela planta. Dessa forma, a incorporação mecânica do adubo orgânico seria um meio de minimizar esses problemas. Objetivou-se avaliar a eficiência da incorporação mecânica de composto orgânico, por meio de uma adubadora adaptada, sobre o crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade do milho no sistema de plantio direto orgânico. Foi utilizada aveia-preta como planta formadora de palhada. O experimento foi disposto em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um esquema fatorial 2 x 3 (presença ausência de palhada) e (composto orgânico aplicado na superfície do solo ou incorporado no solo e ausência de adubação). Utilizou-se a variedade de milho UFVM-100 na população de 40.000 pl ha⁻¹. Determinaram-se a matéria seca e o acúmulo de N, P, K, Ca e Mg nos estádios V4, V6, V8 e R1 e a produtividade de grãos. A incorporação mecânica do composto orgânico no solo proporcionou maior acúmulo de massa seca e macronutrientes, influenciando positivamente o crescimento e a produtividade das plantas de milho no sistema plantio direto orgânico. A incorporação de palhada de aveia-preta no solo proporciona maior acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em plantas de milho cultivadas no sistema de plantio direto orgânico.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; crescimento; cultivo orgânico.

MECHANICAL INCORPORATION OF ORGANIC COMPOUND AND MAIZE PRODUCTIVITY IN ORGANIC NO-TILL SYSTEM

ABSTRACT - One of the difficulties of no-till organic system is related to organic fertilizer, which is applied on soil surface, decreasing the nutrient use by crops. In this way, the mechanical incorporation of organic fertilizer would be a way to minimize these problems. The objective of this work was to evaluate the efficiency of mechanical incorporation of organic compound through a fertilizer spreader adapted on the growth, accumulation of nutrients and maize productivity in organic no-till system. It was used black oats as plant residues. The experiment was in a randomized block design with four replications following a factorial scheme 2 x 3 (respectively absence and presence of organic compound incorporated or applied on soil surface and absence of fertilization). It was used a corn variety UFVM-100 in the population of 40,000 pl ha⁻¹. It was evaluated the dry matter and accumulation of N, P, K, Ca and Mg at growth stages V4, V6, V8 and R1. After plant senescence harvesting of grains and determination of productivity was performed. The mechanical incorporation of organic compound in the soil provides greater accumulation of dry mass and macronutrients, influencing positively the growth and productivity of corn plants in organic no-till system. The incorporation of black oat residues into the soil provides greater accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in corn plants grown in organic no-till system.

Key words: *Zea mays* L.; plant growth; organic cultivation.

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. O milho grão na alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal no mundo, cerca de 70%. Apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho em grão, a alimentação humana, com derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões com baixa renda (Cruz et al. 2006). Embora seja versátil em seu uso, a produção de milho tem acompanhado basicamente o crescimento da produção de suínos e aves, tanto no Brasil como no mundo (Duarte, 2013).

Nas últimas décadas, foram observadas mudanças no padrão de consumo do milho e de outros alimentos. Novos valores, sociais e ambientais, antes pouco relevantes, estão sendo agregados aos produtos e influenciando a escolha dos consumidores. A crescente demanda por alimentos mais saudáveis, de melhor qualidade, com elevado valor nutricional gerou a necessidade de se adotarem novos modelos de produção (Fontanetti et al., 2006), como a agricultura orgânica.

Entre as premissas da produção orgânica, estão o uso adequado do solo, da água e do ar, a redução, ao mínimo possível, de todas as formas de contaminação desses elementos e o incremento da atividade biológica do solo (Brasil, 2003). Na agricultura orgânica, não é permitido o uso de agrotóxicos e de adubos minerais solúveis, sendo usado, na maioria das propriedades, o composto orgânico como fonte de nutrientes para as plantas.

As plantas, em geral, necessitam de aproximadamente 16 elementos químicos para a sua nutrição, os quais podem ser obtidos do solo, do ar, da água e/ou de adubos orgânicos e minerais

(Marschener, 1995). Dentre estas fontes, os adubos orgânicos destacam-se pela possibilidade de fornecerem todos os elementos requeridos pelas plantas, além de apresentarem viabilidade econômica e disponibilidade, principalmente, em pequenas propriedades rurais (Streck et al., 2008). Uma vez aplicados no solo, os adubos orgânicos sofrem transformações que levam à formação de uma mistura complexa de compostos em diferentes estágios de decomposição, a qual é conhecida como matéria orgânica do solo (Camargo, 1999).

Como forma de atender às premissas da agricultura orgânica, a prática do plantio direto pode ser adotada, devido à sua influência sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, com reflexos positivos na recuperação e/ou manutenção da fertilidade e no aumento do potencial produtivo. Porém, adaptar o sistema de plantio direto tradicional às normas da produção orgânica não tem sido tarefa fácil. Estudos preliminares com a cultura do milho têm revelado dificuldades, principalmente em relação à adubação orgânica (Fontanetti et al., 2006). A aplicação do composto orgânico nesse sistema é feita na superfície do solo, o que possivelmente diminui a absorção de nutrientes pelas raízes e acarreta perdas de nitrogênio por volatilização de NH_3 (Fontanetti, 2008). De acordo com Janzen & McGinn (1991), citado por Fontanetti (2008), a perda por volatilização de NH_3 do nitrogênio lábil da decomposição do adubo orgânico pode diminuir seu benefício à cultura principal.

Segundo Corrente et al. (2001), o processo de perda de nitrogênio é de extrema importância, seja para compostos orgânicos ou para fertilizantes nitrogenados, pois pode variar de 9 a 86% do N-fertilizante aplicado. Alexander (1977) afirma

que a liberação de amônia torna-se mais provável quando o teor de nitrogênio do resíduo orgânico é superior a 2,4%, pois a quantidade que excede o necessário para os micro-organismos decompor o material orgânico será descartada na forma de NH_3 .

Celestino (2008), comparando a volatilização de N-NH_3 nos sistemas de plantio direto convencional e orgânico para a cultura do milho, constatou que, com aplicação do composto orgânico em superfície, houve volatilização de amônia, totalizando 7 g de $\text{N-NH}_3 \text{ m}^{-2}$ no sistema de plantio direto orgânico e 12 g de $\text{N-NH}_3 \text{ m}^{-2}$ no sistema de plantio direto convencional.

Uma alternativa para minimizar as perdas de N por volatilização no sistema de plantio direto orgânico seria incorporar mecanicamente o composto orgânico, por meio de enxadas rotativas na linha de plantio, maximizando os efeitos físicos, químicos e biológicos do mesmo no solo (Costa et al., 2011).

Objetivou-se avaliar a eficiência da incorporação mecânica de composto orgânico, por meio de uma adubadora adaptada, sobre o crescimento, o acúmulo de nutrientes e a produtividade do milho em sistema de plantio direto orgânico.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Estação Experimental de Coimbra, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Coimbra, MG, no período de outubro de 2011 a janeiro de 2012. A área caracteriza-se, climaticamente, por temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1.300 a 1.400 mm, concentrada, principalmente, durante o período de outubro a março, com média anual de umidade

relativa do ar de 80 a 85% e temperatura média, neste período, de 23 °C.

O solo da área experimental é classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo, fase terraço, segundo Embrapa (2006), textura muito argiloso (770 g kg^{-1} de argila) e apresenta densidade média de 1,05 g dm^{-3} . As características químicas do solo foram pH 5,7, P e K^+ , 11,5 e 89 mg dm^{-3} , respectivamente, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al, SB, CTC(t) e CTC(T) 2,20, 1,00, 3,96, 3,96, 3,43, 3,43, e 7,39 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, V 46% e MO 3,60 dag kg^{-1} .

A adubadora adaptada utilizada no experimento foi montada no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola, utilizando o chassi de uma semeadora-adubadora FNI-HOWARD Rotacaster, modelo RT 6010, com duas linhas de plantio espaçadas em 0,80 m, na qual foi desenvolvido e acoplado um sistema de distribuição de composto orgânico, tendo como referência um protótipo desenvolvido pela Van Dick Metalúrgica Indústria e Comércio. A máquina trabalha montada no sistema de engate de três pontos e possui um mecanismo de abertura do sulco tipo preparo localizado, acionado pela tomada de potência do trator.

O experimento foi disposto em um delineamento de blocos casualizados com quatro repetições seguindo um esquema fatorial 2x3, sendo o primeiro fator constituído pela presença e ausência de palhada e o segundo pela aplicação de 40 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de composto orgânico na superfície do solo ao lado da linha de plantio ou incorporado com adubadora na linha de plantio e ausência de composto orgânico (testemunha), totalizando seis tratamentos; T1, composto orgânico incorporado com a adubadora com a presença de palhada; T2,

composto orgânico incorporado com a adubadora sem a presença de palhada; T3, composto orgânico aplicado na superfície do solo com a presença de palhada; T4, composto orgânico aplicado na superfície do solo sem a presença de palhada; T5, sem aplicação de composto orgânico com a presença de palhada; T6, sem aplicação de composto orgânico sem a presença de palhada. As características do composto, de acordo com o método descrito por Kiehl e umidade de 13%, foram: N, P, K, Ca Mg e S 1,32, 0,56, 1,44, 1,09, 0,43 e 0,61 dag kg⁻¹, respectivamente, Zn, Fe, Mn, Cu e B 140, 45077, 412, 134, 28 mg dm⁻¹, CO 59,3% e C/N 44,9.

Cada parcela foi constituída por dez linhas de plantio espaçadas em 0,80 m e com comprimento de cinco metros. A área útil da parcela foi composta por seis linhas centrais, excluindo-se 0,50 m nas extremidades. Nas parcelas com a presença de palhada, utilizou-se a aveia-preta *Avena strigosa* Schreb como planta de cobertura, totalizando 9 t ha⁻¹ de massa seca de palha. Após o preparo das parcelas, foi realizada a semeadura do milho, por meio de matraca manual, preconizando uma população de 40.000 plantas ha⁻¹ da variedade de milho UFVM-100.

Foram realizadas duas roçadas das plantas daninhas nas entrelinhas do milho, a primeira aos 20 DAE (dias após a emergência) e a segunda aos 50 DAE. Somente foi feita uma irrigação após a semeadura do milho.

Após a emergência do milho, determinaram-se a massa seca das plantas e acúmulo de N, P, K, Ca e Mg nos estádios de quatro folhas (V4), seis folhas (V6), oito folhas (V8) e florescimento (R1). A quantificação da matéria seca em cada estádio foi realizada, coletando-se todas as plantas referentes a uma linha da parcela útil

(linhas centrais da parcela), que foram secas em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 65 °C; em seguida, o material foi triturado em moinho de facas e devidamente acondicionado para as determinações dos teores dos nutrientes minerais.

Para determinação do N total, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e analisadas pelo método de Kjeldahl. As determinações de P, K, Ca e Mg foram realizadas no extrato nitroperclórico, sendo o P quantificado colorimetricamente pelo método do molibdo-vanadato, o K por fotometria de chama e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 2006).

Realizaram-se a colheita dos grãos do restante das plantas e a determinação da produtividade, corrigindo a umidade dos grãos para 13%. Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelos testes de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SAEG versão 9.1. (SAEG, 2006).

Resultados e Discussão

Os resultados da massa seca da parte aérea de plantas de milho foram significativos para o efeito isolado da presença e ausência de composto orgânico. Os valores dos tratamentos com a aplicação do composto orgânico na superfície e incorporado no solo não diferiram entre si nos estádios V4 e V6. No entanto, apresentaram valores superiores à testemunha sem composto orgânico (Tabela 1).

Tal resultado pode estar associado ao fato das plantas de milho estarem nos estádios iniciais de desenvolvimento demandando pouca quantidade de nutrientes para suprir suas necessidades

metabólicas (Von Pinho et al., 2009). Sendo assim, a quantidade de nutrientes já existente no solo é capaz de suprir a demanda das plantas. Este fato pode ser comprovado pelo resultado de acúmulo de N, P, K, Ca e Mg para os estádios V4 e V6, não apresentando diferença significativa entre os tratamentos com o composto aplicado na superfície ou incorporado no solo, com exceção para o cálcio no estádio V4.

Nos estádios V8 e R1, as plantas de milho cultivadas com o composto orgânico incorporado na linha de plantio com a adubadora apresentaram os maiores valores de massa seca da parte aérea, superando em 132 e 258%, respectivamente, as plantas cultivadas com o composto na superfície do solo e a testemunha sem composto orgânico para o estádio V8. Para o estádio R1, as plantas cultivadas com o composto orgânico incorporado no solo apresentaram valor de massa seca

da parte aérea 11 e 172% maior que plantas cultivadas com o composto orgânico aplicado na superfície do solo e sem composto orgânico, respectivamente. Este resultado pode ser atribuído ao efeito da incorporação do composto orgânico no solo influenciando sua qualidade, caracterizando-se pela liberação gradativa de nutrientes, que reduz processos como lixiviação, fixação e volatilização, embora dependam essencialmente da taxa de mineralização, controlada pela temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo, além da composição química do material orgânico utilizado (Leite et al., 2003).

Para o acúmulo de nitrogênio, observou-se efeito significativo isolado para os modos de aplicação do composto orgânico e a ausência deste, com exceção do estádio V8, que apresentou efeito significativo da interação palhada e composto orgânico (Tabela 2).

TABELA 1. Valores médios de massa seca de plantas de milho, em gramas por planta, nos estádios V4, V6, V8 e R1. Viçosa, MG, 2012.

Estádios	Palhada	Composto Orgânico			Média	CV (%)
		Incorporado	Superfície	Sem Composto		
V4	Com	2,5	2,4	1,5	2,10	22,8
	Sem	2,1	2,6	1,7	2,10	
	Média ¹	2,3 a	2,5 a	1,6 b	2,10	
V6	Com	9,8	10,7	3,2	7,90	21,2
	Sem	11,2	8,1	3,0	7,40	
	Média	10,5 a	9,4 a	3,1 b	7,60	
V8	Com	37,9	15,2	10,2	21,10	10,20
	Sem	33,7	15,6	9,9	19,70	
	Média	35,8 a	15,4 b	10,0 c	20,40	
R1	Com	114,3	111,5	50,0	91,90	12,4
	Sem	128,8	108,0	39,3	94,40	
	Média	121,6 a	109,7 b	44,6 c	93,10	

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nos estádios V4, V6 e R1, não houve diferença significativa para o acúmulo de nitrogênio pelas plantas de milho cultivadas com o composto orgânico aplicado na superfície ou incorporado no solo. No entanto, tais valores foram superiores aos tratamentos sem composto orgânico. Este resultado pode ser atribuído à contínua liberação de N pela mineralização do material orgânico, tanto aplicado na superfície quanto incorporado no solo, limitando a absorção do nutriente pelas plantas de milho, promovendo acúmulos semelhantes (Damatto Júnior et al., 2006).

No estádio V4, as plantas de milho definem a quantidade de folhas e espigas que eventualmente irão produzir. É neste estádio também que as plantas definem seu potencial produtivo. Desse modo, um maior acúmulo de nutrientes nesta fase, principalmente de N, favorecerá as plantas

a expressarem seu máximo potencial produtivo (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Para o estádio V8, observa-se que as plantas cultivadas com o composto orgânico incorporado no solo, tanto na presença quanto na ausência de palhada de aveia-preta, acumularam mais nitrogênio que as plantas cultivadas com o composto orgânico aplicado na superfície do solo, superando em 212 e 80%, respectivamente, com a presença e a ausência de palhada.

A presença de palhada de aveia-preta influenciou de forma positiva o acúmulo de nitrogênio pelas plantas cultivadas com o composto incorporado no solo, proporcionando acúmulo 21% maior. Tal resultado pode estar associado ao efeito da incorporação da palhada de aveia-preta juntamente com o composto orgânico e mineralização do N presente na mesma. Além disso, existe o N que

TABELA 2. Acúmulo de nitrogênio, em miligramas por planta, nos estádios V4, V6, V8 e R1. Viçosa, MG, 2012

Nutrientes	Estádios	Palhada	Composto Orgânico			Média	CV (%)
			Incorporado	Superfície	Sem Composto		
N	V4	Com	59,93	70,35	36,40	55,56	24,79
		Sem	43,11	65,05	35,21	47,79	
		Média ¹	51,52 a	67,70 a	35,80 b	51,67	
	V6	Com	213,59	265,71	70,19	183,16	30,47
		Sem	248,98	192,23	54,65	165,29	
		Média	231,29 a	228,97 a	62,42 b	174,23	
	V8	Com	1018,66 Aa	326,36 Ab	263,30 Ab	536,11	22,31
		Sem	838,95 Ba	466,88 Ab	218,32 Ac	508,05	
		Média	928,80	396,62	240,81	522,08	
	R1	Com	2398,26	2198,90	1106,56	1901,24	19,52
		Sem	2839,40	2226,51	711,63	1925,85	
		Média	2618,83 a	2212,70 a	909,10 b	1913,54	

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

estava disponível no solo da área antes da incorporação do composto e da palhada de aveia-preta. Segundo Melo et al. (2011), a aveia-preta, embora não seja uma leguminosa, acumula e recicla o N, sendo o segundo nutriente de maior quantidade na biomassa seca da sua parte aérea. Esse fato também foi verificado por Borkert et al. (2003) e Crusciol et al. (2008). Moraes (2001), trabalhando em solos de Cerrado, obteve valores de 126,7 kg ha⁻¹ de N na matéria seca de aveia-preta. Segundo Borkert et al. (2003), o N é acumulado na matéria seca da aveia-preta em uma amplitude média de 59 a 224 kg ha⁻¹.

Na Tabela 3, observa-se que não houve diferença significativa para o acúmulo de P na massa seca das plantas de milho no estádio V4, devido ao fato de as plantas estarem em uma fase inicial de desenvolvimento do sistema radicular com exploração de menor volume de solo. (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

No estádio V6, observa-se efeito significativo para a interação composto orgânico versus palhada, com o maior acúmulo de P para o tratamento com a incorporação do composto orgânico no solo sem a presença de palhada de aveia-preta, superando em 118% o tratamento com o composto aplicado na superfície do solo e em 262% o tratamento sem composto orgânico. Com a presença da palhada de aveia-preta, observou-se o incremento do valor de P acumulado nas plantas de milho cultivadas com o composto na superfície do solo; tal incremento possivelmente deve-se ao fornecimento de P pela palhada de aveia-preta.

Dentre os macronutrientes, o P é reciclado em menor quantidade pela aveia-preta, variando de 8 a 12 kg ha⁻¹, no intervalo de classe variando de 5 a 10 t ha⁻¹ de matéria seca (Borkert et al. 2003). Contudo, Giacomini et al. (2003), trabalhando com aveia-preta, ervilhaca, nabo e pousio em cultivo

TABELA 3. Acúmulo de fósforo, em miligramas por planta, nos estádios V4, V6, V8 e R1. Viçosa, MG, 2012

Nutrientes	Estádios	Palhada	Composto Orgânico			Média	CV (%)
			Incorporado	Superfície	Sem Composto		
P	V4	Com	8,30	6,85	5,02	6,72	28,80
		Sem	6,34	5,57	5,59	5,83	
		Média ¹	7,32	6,21	5,30	6,28	
	V6	Com	32,32 Aa	29,25 Aa	10,16 Ab	23,91	21,52
		Sem	33,66 Aa	15,44 Bb	9,30 Ab	19,47	
		Média	32,99	22,34	9,73	21,69	
	V8	Com	143,34	54,47	38,51	78,77	38,67
		Sem	107,85	57,16	35,93	66,98	
		Média	125,60 a	55,81 b	37,22 b	72,88	
	R1	Com	649,03	575,43	263,18	495,88	20,27
		Sem	665,33	536,40	173,95	458,56	
		Média	657,18 a	555,91 a	218,56 b	477,22	

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

isolado e consorciado, em 1998, 1999 e 2000, relataram que a aveia acumulou na matéria seca cerca de 16, 13 e 12 kg ha⁻¹ de P, respectivamente.

No estádio V8, as plantas cultivadas com o composto orgânico incorporado na linha de plantio com a adubadora acumularam 125% mais fósforo que as plantas cultivadas com o composto aplicado na superfície do solo. Este resultado evidencia o benefício da incorporação do composto orgânico no solo com a adubadora, pois o composto está em contato direto com as raízes do milho, favorecendo a absorção do fósforo.

No estádio R1, o acúmulo de P pelas plantas de milho cultivadas com o composto orgânico aplicado na superfície do solo não diferiu significativamente dos valores de P acumulado nas plantas cultivadas com o composto orgânico incorporado no solo. Este resultado deve-se à emissão das raízes adventícias no caule das plantas de milho no estádio V12,

que precede o florescimento (R1). Tais raízes desenvolvem-se sobre a superfície do solo e são responsáveis pela sustentação da planta e absorção de nutrientes na camada superficial do solo, principalmente P (Tollennar et al., 1979). Dessa forma, as plantas de milho cultivadas com o composto aplicado na superfície do solo ao lado da linha de plantio tiveram maior eficiência em absorver o P do composto orgânico a partir do estádio V12, refletindo em um acúmulo de P semelhante ao das plantas cultivadas com o composto incorporado no solo no estádio R1.

Com base na Tabela 4, observa-se que o potássio foi o nutriente com maior acúmulo para três primeiros estádios avaliados, em razão da quantidade presente no composto orgânico. O acúmulo de K apresentou-se de forma semelhante ao acúmulo de N nos estádios V4 e V6, com os valores não diferindo entre os tratamentos com o composto aplicado na superfície ou incorporado no solo.

TABELA 4. Acúmulo de potássio, em miligramas por planta, nos estádios V4, V6, V8 e R1. Viçosa, MG, 2012

Nutrientes	Estádios	Palhada	Composto Orgânico			Média	CV (%)
			Incorporado	Superfície	Sem Composto		
K	V4	Com	103,65	103,60	52,37	86,54	28,36
		Sem	78,93	110,37	59,97	83,09	
		Média ¹	91,29 a	106,98 a	56,17 b	84,82	
	V6	Com	448,18	475,37	117,96	347,17	23,45
		Sem	419,18	390,37	112,68	307,41	
		Média	433,68 a	432,87 a	115,32 b	327,29	
	V8	Com	1038,33	453,08	311,45	600,95	24,34
		Sem	962,58	462,50	324,79	583,29	
		Média	1000,45 a	457,79 b	318,12 c	592,12	
	R1	Com	2227,93 Aa	1675,73 Aa	882,06 Ab	1595,24	12,61
		Sem	1934,80 Ba	1774,86 Ab	628,86 Ac	1446,17	
		Média	2081,36	1725,30	755,46	1520,71	

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No estádio V8, observou-se que as plantas cultivadas com o composto orgânico incorporado no solo acumularam 118% mais K que a plantas cultivadas com o composto aplicado na superfície do solo. No estádio R1, verificou-se que as plantas do tratamento sem palhada com o composto orgânico incorporado apresentaram maior acúmulo de K. No entanto, com a presença da palhada de aveia-preta, os tratamentos com aplicação do composto orgânico, tanto na superfície quanto incorporado no solo, não diferiram significativamente. Este resultado, juntamente com o resultado positivo obtido para a presença de palhada de aveia-preta no tratamento com a incorporação do composto orgânico, pode ser explicado pelo fornecimento de K pela decomposição da palhada da aveia-preta. Segundo Melo et al. (2011), o potássio é, quantitativamente, o nutriente mais ciclado pela aveia-preta, alcançando, somente na parte aérea, 101,14 kg ha⁻¹ de K. Giacomini et al. (2003) relataram que a quantidade

de K acumulado pela gramínea aveia-preta foi maior do que a da leguminosa ervilhaca em apenas 19% em 1999 e em 53% em 2000 e não diferiu no ano de 1998. Conforme Borkert et al. (2003), a aveia-preta pode ser uma planta recicladora de K por possuir sistema radicular profundo, permitindo retornar para a camada superficial do solo o K lixiviado nas subcamadas do solo.

Os resultados de acúmulo de cálcio pelas plantas de milho foram influenciados somente pelo efeito isolado da presença e ausência de composto orgânico e o modo que este foi aplicado no solo, semelhante aos resultados observados para K nos estádios V6 e V8. O acúmulo de Ca não diferiu entre os tratamentos com o composto orgânico aplicado na superfície ou incorporado no solo com a adubadora no estádio V6. O maior valor de cálcio acumulado pelas plantas cultivadas foi observado no estádio V8 para o tratamento, composto incorporado no solo, o valor foi superior em 143% quando

TABELA 5. Acúmulo de cálcio, em miligramas por planta, nos estádios V4, V6, V8 e R1. Viçosa, MG, 2012

Nutrientes	Estádios	Palhada	Composto Orgânico			Média	CV (%)
			Incorporado	Superfície	Sem Composto		
Ca	V4	Com	6,58	8,51	3,85	6,31	26,51
		Sem	5,62	7,98	4,75	6,12	
		Média ¹	6,10 b	8,25 a	4,30 b	6,22	
	V6	Com	24,86	33,75	8,94	22,52	25,88
		Sem	29,52	27,73	8,46	21,90	
		Média	27,19 a	30,74 a	8,70 b	22,21	
	V8	Com	152,63	63,43	33,60	83,22	20,10
		Sem	151,62	61,79	37,20	83,54	
		Média	152,12 a	62,61 b	35,40 c	83,38	
	R1	Com	358,33	368,58	173,56	300,16	26,03
		Sem	495,96	407,86	111,85	338,56	
		Média	427,15 a	388,22 a	142,70 b	319,36	

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

comparado com as plantas de milho cultivadas com o composto aplicado na superfície (Tabela 5).

Para o estágio V4, observou-se que os tratamentos em que o composto orgânico foi incorporado no solo apresentaram menor acúmulo de cálcio, não diferindo significativamente da testemunha sem composto orgânico. Tal resultado pode estar associado ao efeito da competição entre o K^+ e o Ca^{2+} pelo mesmo sítio de absorção de cátions pelas plantas (Marschener, 1995). Provavelmente, quando o composto orgânico foi incorporado ao solo, tanto o K quanto o Ca ficaram prontamente disponíveis para absorção. No entanto, a quantidade de K foi superior à de Ca, o que promoveu uma competição entre tais cátions pelos sítios de absorção, de maneira que o K prejudicou a absorção do cálcio pelas plantas de milho, consequentemente acumulando menos cálcio.

No estágio R1, não foi observada diferença significativa para o acúmulo de cálcio entre os tratamentos com aplicação do composto orgânico na superfície do solo ou incorporado com a adubadora. Esta resposta pode estar relacionada ao elevado teor de matéria orgânica no solo (3,60 dag kg^{-1}) e à emissão das raízes adventícias no caule das plantas de milho no estágio V12, que precede o florescimento (R1), favorecendo a absorção do cálcio do composto orgânico aplicado na superfície do solo, refletindo em um maior acúmulo de cálcio no estágio R1, não diferindo das plantas cultivadas com o composto orgânico incorporado no solo (Von Pinho et al., 2009).

O acúmulo de magnésio no estágio V6, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos com a aplicação de composto orgânico na superfície do solo ou incorporado com a adubadora, tanto com a

TABELA 6. Acúmulo de magnésio, em miligramas por planta, nos estádios V4, V6, V8 e R1. Viçosa, MG, 2012

Nutrientes	Estádios	Palhada	Composto Orgânico			Média	CV (%)
			Incorporado	Superfície	Sem Composto		
Mg	V4	Com	7,21	6,56	4,44	6,07	29,15
		Sem	5,84	5,99	4,68	5,50	
		Média ¹	6,53	6,27	4,56	5,79	
	V6	Com	29,56 Aa	36,33 Aa	10,23 Ab	25,37	21,37
		Sem	30,21 Aa	23,42 Ba	9,75 Ab	21,13	
		Média	29,89	29,87	9,99	23,25	
	V8	Com	120,31	58,56	34,34	71,07	31,13
		Sem	120,97	55,84	38,39	71,73	
		Média	120,64 a	57,20 b	36,36 b	71,40	
	R1	Com	351,43	370,81	145,23	289,64	21,35
		Sem	402,25	345,23	103,45	265,54	
		Média	376,84 a	358,02 a	124,34 b	286,40	

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

presença quanto com a ausência de palhada de aveia-preta (Tabela 6). Apenas para o tratamento com a aplicação do composto orgânico na superfície do solo houve diferença significativa para presença e ausência de palhada de aveia-preta, sendo a que presença da palhada proporcionou um incremento de 55% no acúmulo de Mg nas plantas de milho.

Para os estádios V8 e R1, o acúmulo de magnésio pelas plantas de milho apresentou-se de forma semelhante ao observado para Ca; o maior valor médio foi observado para os tratamentos com o composto incorporado no solo com a adubadora no estádio V8, superando em 110% os tratamentos com o composto aplicado na superfície do solo. Segundo Von Pinho et al. (2009), o maior incremento na absorção de magnésio ocorre entre os estádios V6 e R1. Desta forma, a incorporação do composto orgânico no solo propiciou maior disponibilidade do nutriente no solo, favorecendo a absorção pelas plantas de milho.

Para a produtividade de grãos, observou-se diferença significativa apenas para a presença e a ausência de composto orgânico. As plantas de milho cultivadas com o composto orgânico incorporado no solo com a adubadora superaram em 14% e 23%, respectivamente, a produtividade das plantas de milho cultivadas com o composto orgânico aplicado na superfície e a testemunha sem aplicação de composto orgânico (Figura 1).

Marin et al. (2007) destacaram que a incorporação de esterco ou de ramas de gliricídia ao solo aumentou a produtividade de milho, principalmente no sistema de cultivo em aléias. Amujoyegbe et al. (2007) verificaram que a aplicação de cama de galinha proporcionou aumento na área foliar, matéria seca e produtividade de grãos de milho em relação ao tratamento que não recebeu adubação e não diferiu do tratamento com fertilizante orgânico.

Santos et al. (2007) verificaram que as variedades de milho Nitrodente e Nitroflint cultivadas

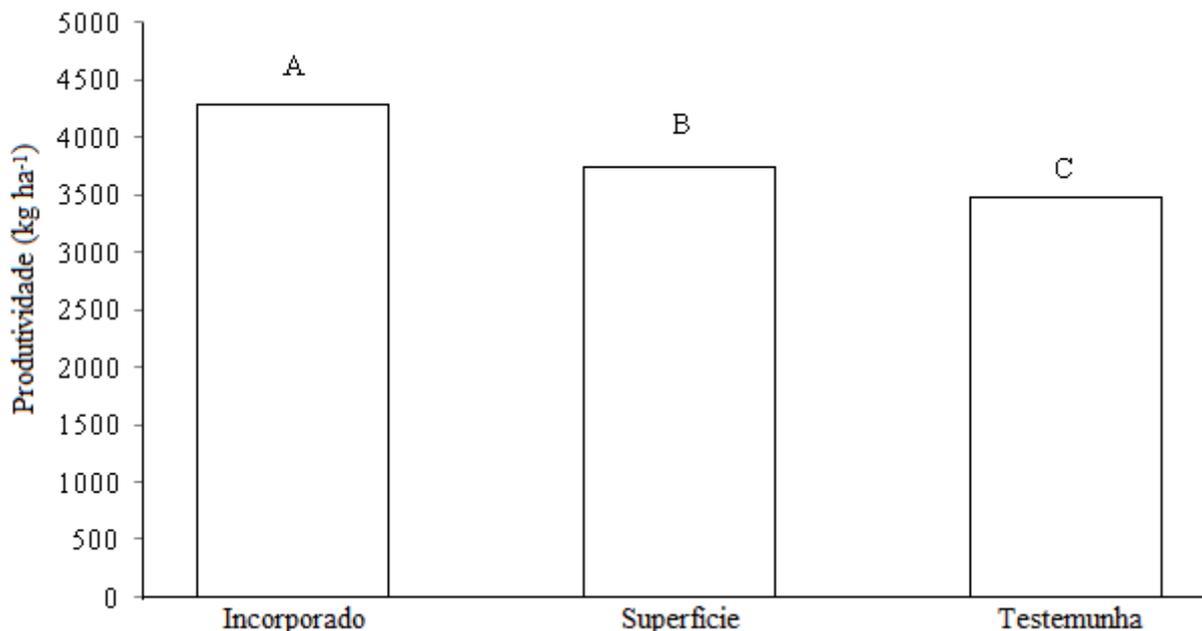


FIGURA 1. Produtividade do milho sobre diferentes formas de aplicação de composto orgânico. Viçosa, MG, 2012.

em área com 23 anos no sistema orgânico exclusivo produziram acima 6.500 kg ha⁻¹. Silva et al. (2004), estudando os efeitos da adubação orgânica sobre a cultura do milho, constataram que o rendimento de espigas verdes e de grãos aumentou com a elevação das doses de esterco, exceto o número e o peso total de espigas verdes.

Conclusões

A incorporação mecânica do composto orgânico no solo proporciona maior acúmulo de massa seca e macronutrientes, influenciando positivamente o crescimento e a produtividade das plantas de milho no sistema de plantio direto orgânico.

A incorporação de palhada de aveia-preta no solo proporciona maior acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em plantas de milho cultivadas no sistema de plantio direto orgânico.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Viçosa pela infraestrutura, à Capes e ao CNPq pelo apoio financeiro, aos funcionários do Campo Experimental de Coimbra e aos estagiários do programa milho pelo apoio nas atividades.

Referências

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1977. 467 p.

AMUJOYEBEL, B. J.; OPABODE, J. T.; OLAYINKA, A. Effect of organic and inorganic fertilizer on yield and chlorophyll

content of maize (*Zea mays* L.) and sorghum *Sorghum bicolor* (L.) Moench). African Journal of Biotechnology, Nairobi, v. 6, n. 16, p. 1869-1873, 2007.

BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, L. R.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 1, p. 143-153, jan. 2003.

BRASIL. Lei no 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil**, Brasília, 24 dez. 2003. Seção 1, p. 8 Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/legisl.htm>> Acesso em: 8 mai. 2012.

CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.

CELESTINO, A. P. Q. **Características químicas e dinâmica do n no solo nos sistemas de plantio direto orgânico e tradicional do milho**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CORRENTE, J. E.; NOGUEIRA, M. C. S.; COSTA, B. M. Contrastes ortogonais na análise do controle de volatilização de amônia em compostagem. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 407-412, 2001.

COSTA, M. S. S. M.; PIVETTA, L. A.; COSTA, L. A. M.; CASTOLDI, G.; STEINER, F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações.

- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 810-815, 2011.
- CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.
- CRUZ, J. C.; KONZEN, E. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARRIEL, I. E.; CRUZ, I.; DUARTE, J. O.; OLIVEIRA, M. F.; ALVARENGA, R. C. **Produção de milho orgânico na agricultura familiar**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica 81).
- DAMATTO JÚNIOR, E. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; SARITA LEONEL, S.; FERNANDES, D. M. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 28, n. 3, p. 546-549, 2006.
- DUARTE, J. O. **Importância econômica do milho**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/importancia.htm>. Acesso em: 1 abr. 2013.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Gerenciamento da cultura de milho**. Piracicaba: LPV; ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2000.
- FONTANETTI, A. Adubação e dinâmica de plantas daninhas em sistema de plantio direto orgânico de milho. 2008. 84 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.
- FONTANETTI, A.; GALVÃO, J. C. C.; SANTOS, I. C.; MIRANDA, G. V. Produção de milho orgânico no sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 127-136, 2006.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. M. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 821-832, 2003.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 2006. 319 p.
- MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 5, p. 1-8. 2007.
- MARSCHENER, H. **Mineral Nutrition of Higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MELO, A. V.; GALVÃO, J. C. C.; BRAUN, H.; SANTOS, M. M.; COIMBRA, R. R.; SILVA, R. R.; REIS, W. F. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 411-420,

- abr/jun. 2011.
- MORAES, R. N. S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milheto, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. 2001, 68 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SAEG. **Sistema de análises estatísticas e genéticas versão 9.1**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 142 p.
- SANTOS, I. C.; MENDES, F. F.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; OLIVEIRA, L. R.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; FONTANÉTTI, A.; FALUBA, J. S. Avaliação de cultivares para produção orgânica de milho-verde e grãos em consorciação com mucuna anã. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 2, n. 1, p. 1-4, fev. 2007.
- SILVA, J.; LIMA, E.; SILVA, P. S.; OLIVEIRA, M.; BARBOSA, E.; SILVA, K. M. Efeito de esterco bovino sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 326-331, 2004.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. **D. Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RSASCAR, 2008. 126 p.
- TOLLENNAR, M.; DAYNARD, T. B.; HUNTER, T. B. Effect of temperature sensitive period for leaf number of maize. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 457-460, 1979.
- VON PINHO, R. G.; RIVERA, A. A. C.; BRITO, H. N.; LIMA, T. G. Avaliação agrônômica do cultivo de milho em diferentes níveis de investimento. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 39-46, 2009.