



Liberação de Fósforo de Resíduos de Plantas de Cobertura Cultivadas em Latossolo Vermelho Sob Sistema Plantio Direto por Longa Duração

Carlos Alberto Casali⁽¹⁾; João Kaminski⁽²⁾; Danilo Rheinheimer dos Santos⁽²⁾; Ademir Calegari⁽³⁾; Tales Tiecher⁽⁴⁾; Rogério Piccin⁽⁵⁾; Roque Júnior Sartori Bellinaso⁽⁵⁾

⁽¹⁾Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos; Estrada para Boa Esperança, km 4, caixa postal 157. CEP 85660-000. Dois Vizinhos-PR. betocasali@yahoo.com.br; ⁽²⁾Professor da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Av. Roraima n°1000, CEP 97105-900. Santa Maria-RS; ⁽³⁾Pesquisador Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR); estação experimental de Londrina. Rod. Celso Garcia Cid, km 375. CEP 86047-902. ⁽⁴⁾Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFSM; ⁽⁵⁾Acadêmico de Agronomia da UFSM.

RESUMO– O objetivo do presente trabalho foi avaliar a liberação de P a partir da decomposição dos resíduos de plantas de cobertura. Em setembro de 2011, em um experimento instalado em 1986 sobre um Latossolo Vermelho aluminoférrico, no IAPAR, Pato Branco, PR, foram coletadas amostras da parte aérea das plantas de cobertura tremoço azul, ervilhaca comum, aveia branca, nabo forrageiro, centeio e trigo, manejadas sob SPD. Mediu-se a decomposição dos resíduos das plantas e a liberação de P por meio de bolsas de decomposição de poliéster, que foram coletadas aos 0,7,14,28,56 e 112 dias após o manejo das plantas. Avaliaram-se as taxas de decomposição e o tempo de meia vida da MSPA e do P. O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados com três repetições. Realizou-se a análise da variância e a comparação das médias por meio do teste SCOTT-KNOTT a 5% de probabilidade de erro. Verificou-se que a quantidade de P liberado dos resíduos das plantas não é dependente apenas da sua taxa de decomposição e do seu teor total de P. A ervilhaca comum e o centeio reciclaram a maior quantidade de P do solo, pois a primeira possui a maior capacidade de acumular P no tecido associado a um tecido com elevada taxa de decomposição, enquanto a segunda produziu elevada quantidade de MSPA. A liberação de P dos resíduos de plantas de cobertura deve ser levada em consideração para reduzir o uso de fertilizantes fosfatados nas culturas cultivadas em sequência.

Palavras-chave: Rotação de culturas; ciclagem de nutrientes, sistema plantio direto.

INTRODUÇÃO– O conhecimento da dinâmica de decomposição de resíduos vegetais das plantas de cobertura e dos seus efeitos na disponibilidade de nutrientes no solo, em formas mais prontamente disponíveis, são importantes para se recomendar o uso dessas plantas seja em cobertura (plantio direto), seja com incorporação (Carvalho, 2005). Essa dinâmica dependerá da composição do material e da relação de ocorrência de compostos solúveis e recalcitrantes, como de ligninas, celulose, de polifenóis, de aminoácidos e proteínas (Paul; Klark, 1996). Isso muitas vezes é expresso em relação C:N e é bastante utilizado em estudos com mineralização de N (Doneda, 2010).

A velocidade de liberação dos nutrientes dos resíduos culturais durante esse processo depende da localização e

da forma em que esses nutrientes se encontram no tecido vegetal. Para o fósforo (P), a maior parte encontra-se no vacúolo da célula vegetal, na forma mineral, bastante solúvel em água (Marschner, 1995), constituído principalmente por Pi e monoésteres, restando nos resíduos as formas de P não solúvel em água (maioria diésteres: ácidos nucléicos, fosfolipídios e fosfoproteínas), dependentes da população microbiana do solo para a sua mineralização (Frossard et al., 1995).

Casali et al. (2011) avaliaram a liberação de diferentes formas de P do resíduos de plantas de cobertura e constataram que as espécies com maior teor de P inorgânico liberaram mais rapidamente o P ao solo, até mesmo sem ser acompanhado pela degradação dos resíduos vegetais. Mas, pelo fato de uma parte do P ser constituinte da estrutura do tecido vegetal, a sua liberação também apresenta uma íntima relação com a mineralização desses materiais (Giacomini et al., 2003). Marsola (2008) verificou que aproximadamente 33% das espécies de P dos tecidos é insolúvel, sendo que esta fração necessita da ação de microorganismos para ser decomposta e liberar os nutrientes para as plantas subsequentes.

Giacomini et al. (2003) encontraram que o uso de ervilhaca isoladamente ou associada a poáceas conseguiu adicionar maior quantidade de P no solo a partir da decomposição dos seus resíduos, em função da maior absorção de P pela planta leguminosa associado à maior labilidade dos seus resíduos vegetais. Conforme Barber (1984), a liberação do P orgânico para a solução do solo é controlada pela taxa de mineralização da matéria orgânica e depende da atividade microbiana que usam os esqueletos carbônicos como fonte de energia, hidrolisando os ésteres de fosfato, o que fornece o íon Pi para as plantas (Tarafaldar e Claassen, 2005).

Portanto, as plantas de cobertura apresentam quantidades e formas de P no tecido vegetal com variada labilidade, o que pode interferir na liberação destes a partir da decomposição dos resíduos culturais. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a liberação de P a partir da decomposição dos resíduos de plantas de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS– O estudo foi desenvolvido na área experimental do IAPAR em Pato Branco, PR, sobre um Latossolo Vermelho aluminoférrico (EMBRAPA, 2006). O experimento foi instalado em março de 1986, com o preparo do solo em toda a área e

aplicação de calcário para elevar o pH do solo até 6,0. Os tratamentos consistiram no cultivo, no período de inverno, das plantas de cobertura tremoço azul (*Lupinus angustifolius* L.), ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), aveia branca (*Avena sativa* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), centeio (*Secale cereale* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.), manejadas sob SPD. Durante os 25 anos de duração do experimento, as plantas de cobertura foram instaladas em 13 oportunidades. Em maio de 2011, semearam-se as culturas, sem adição de fertilizantes, e em setembro de 2011, quando o tremoço azul, o centeio e o nabo forrageiro estavam no final do estágio de florescimento, a aveia no estágio de emborrachamento, a ervilhaca comum no início do estágio de florescimento e o trigo no estágio de enchimento dos grãos, coletou-se a parte aérea das plantas, por meio de um quadro de 0,64 m².

As amostras foram acondicionadas em ambiente protegido e com arejamento natural durante sete dias. Após, o material vegetal seco ao ar (MVSA) foi pesado e uma amostra secada em estufa a 65°C até peso constante para quantificar o material seco da parte aérea (MSPA).

Decomposição dos resíduos das plantas de cobertura

Utilizaram-se bolsas de decomposição de poliéster (0,2 x 0,2 m e malha de 0,5 mm) que receberam uma quantidade de MVSA, cortada em pedaços de 15 cm, proporcional ao produzido por cada espécie de planta. 10 bolsas foram distribuídas na superfície do solo das respectivas parcelas, sendo que aos 7, 14, 28, 56 e 112 dias após o manejo das plantas, efetuou-se a coleta de duas bolsas por parcela. Após, o material contido nas bolsas foi seco em estufa a 65°C, pesado, moído em moinho tipo Willey e armazenado.

No Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFSM, realizaram-se as análises químicas dos resíduos vegetais. O teor de P total da MSPA foi analisado conforme Tedesco et al. (1995). No entanto, não utilizou-se a mistura de digestão recomendada pela metodologia (CuSO₄ + NaSO₄), pois em testes realizados nesse estudo, a mistura subestimou os valores de P em até 30%. Determinou o teor de carbono da MSPA (EMBRAPA, 1997).

Avaliaram-se as taxas de decomposição de MSPA e de liberação de P, conforme Wieder e Lang (1982). O MSPA remanescente foi ajustado por meio de um modelo de decaimento exponencial duplo com quatro parâmetros e o P total com um modelo de decaimento exponencial simples com três parâmetros, assim descritos:

$$MSPA_{remanescente} = A * e^{(ka*t)} + (100 - A) * e^{(kb*t)} \quad (1)$$

$$P_{remanescente} = A * e^{(ka*t)} + (100 - A) \quad (2)$$

onde o MSPA remanescente e o P remanescente é a sua porcentagem em um tempo (dia); "A" é a MSPA ou P (% da quantidade inicial) contida no compartimento lábil; "(100 - A)" é a quantidade de MSPA ou P (% da quantidade inicial) contido no compartimento recalcitrante; "Ka" e "Kb" é a taxa constante de mineralização do MSPA ou de liberação de P do compartimento "A" e "(100-A)", respectivamente.

Conforme Paul e Clark (1996), a partir dos valores de K, calcularam-se o tempo de meia-vida do MSPA e do P (tempo necessário para que 50% da MSPA ou do P sejam liberados), por meio da equação:

$$t_{1/2} \text{ (dias)} = \frac{0,693}{k} \quad (3)$$

A liberação acumulada de P dos resíduos de plantas de cobertura foi estimada, multiplicando-se a porcentagem de P liberado, obtida mediante o modelo, pela quantidade inicial de P (kg ha⁻¹) adicionada nas bolsas de decomposição.

Análises estatísticas

O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados com três repetições. Os dados obtidos no presente estudo foram todos normalizados, por meio da aplicação de Log (n+0,5), antes de realizar a análise da variância e o teste de médias. Realizou-se a análise da variância e, quando os efeitos dos tratamentos foram significativos a 5% de probabilidade de erro, realizou-se a comparação das médias por meio do teste SCOTT-KNOTT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO- Até os 112 dias após o manejo das plantas de cobertura, o MSPA remanescente variou de 37 a 64%, encontrados em ervilhaca e centeio, respectivamente (Figura 1). A decomposição dos resíduos das plantas foi mais intensa até os primeiros 28 dias, sendo possível distinguir dois grupos de plantas com velocidades distintas de decomposição dos resíduos: o primeiro com maiores taxas, onde restou em torno de 55% dos resíduos de nabo forrageiro e ervilhaca comum e 62% dos resíduos de tremoço azul, e o segundo grupo, com taxa de decomposição menor, onde restaram 78%, 79% e 81% dos resíduos de aveia, trigo e centeio, respectivamente (Figura 1). Isso se justifica, pois a decomposição do MSPA relaciona-se inversamente à relação C:N do material (tabela 1), conforme destacado por Soon e Arshad (2002), Giacomini et al. (2003) e Doneda (2010).

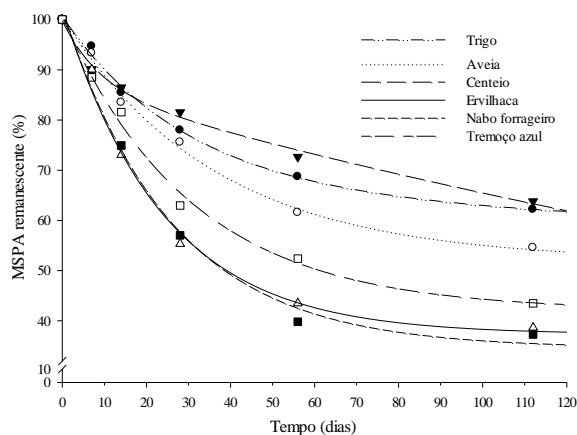


Figura 1 – Curvas de decomposição dos resíduos de plantas de cobertura cultivadas sob sistema plantio direto. Pato Branco, PR, 2011.

A ervilhaca comum e o nabo forrageiro apresentaram o MSPA com maior conteúdo lábil (A) (64,9 e 67,4%,

respectivamente), seguido pelo tremoço azul (58,5%) e pela aveia (48,4%). Já o centeio e o trigo apresentaram o MSPA com menor conteúdo lábil (13,3 e 35,7%, respectivamente). O maior conteúdo lábil indica resíduos com maior facilidade de decomposição, o que acarreta em menor quantidade de MSPA remanescente, e relaciona-se inversamente com a relação C:N dos resíduos.

Ao final de 112 dias o P remanescente (Prem) do MSPA das plantas de cobertura variou de 20% a 62% (Figura 2), indicando uma grande variabilidade na liberação do P a partir da decomposição de resíduos culturais. A ervilhaca comum apresentou o menor teor de Prem aos 112 dias (20%), seguida pelo tremoço azul (40%) e o nabo forrageiro (48%). Já o trigo apresentou o maior teor de Prem (62%), seguido pela aveia e centeio (ambos com 50%) (Figura 2).

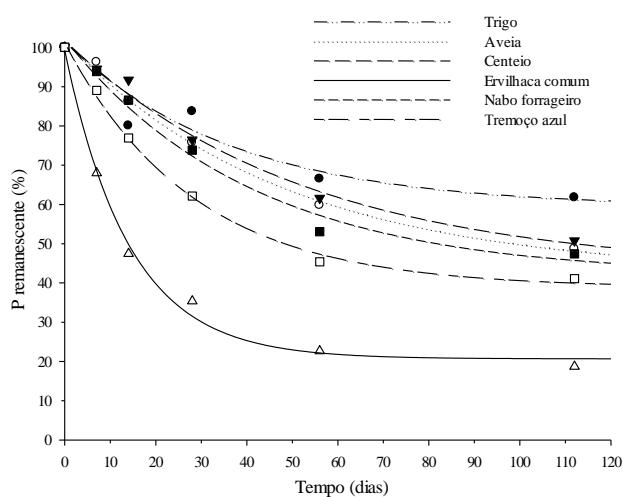


Figura 2 – Curvas de liberação de P do resíduo de plantas de cobertura cultivadas sob sistema plantio direto. Pato Branco, PR, 2011.

Até os 28 dias houve uma maior liberação do P, restando apenas 30% e 62% do Ptotal no resíduo de ervilhaca comum e tremoço azul, respectivamente. Já o centeio, a aveia e o nabo forrageiro apresentavam o mesmo teor de Prem (75%), enquanto o resíduo de trigo ainda possuía 84% do P (Figura 2), sendo esses dados corroborados pelos obtidos por Giacomini et al. (2003) e Da Ros (1993).

Enquanto o centeio e o trigo apresentaram a mesma taxa de decomposição da MSPA (Figura 1), as taxas de liberação de P foram diferentes (Figura 2). Da mesma forma, a ervilhaca comum e o nabo forrageiro apresentam a mesma taxa de decomposição de MSPA (Figura 1), no entanto, a taxa de liberação de P da ervilhaca foi mais elevada que a do nabo (Figura 2). Nesse sentido, infere-se que a liberação de P por parte dos resíduos de plantas não está condicionado apenas ao teor total de P e a taxa de decomposição dos resíduos, mas também as formas como o P é armazenado dentro do tecido vegetal e a ação de enzimas que aceleram a clivagem do P em relação à decomposição do resíduo (Solomon et al., 2002; Tarafdar e Claassen, 2005).

A liberação acumulada de P até os 112 dias variou de 4,5 a 12,5 kg ha⁻¹ (Figura 3). Essa diferença existe em função das plantas apresentarem diferentes taxas de decomposição de MSPA e de P (Figura 1 e figura 2), além de diferentes teores de P no tecido (tabela 1), como citado por Giacomini et al. (2003). No período de 112 dias, a ervilhaca comum liberou 12,5 kg ha⁻¹ para o solo, o que equivale à 1/3 da dose de P recomendada para a cultura do milho, com expectativa de produtividade de 6 Mg ha⁻¹, sobre um solo com classe de disponibilidade alto (CQFS-RS/SC, 2004).

Giacomini et al. (2003) também encontrou maior liberação de P pela ervilhaca comum, comparativamente à aveia e nabo forrageiro. Isso está relacionado ao elevado teor de P do seu tecido, acumulado principalmente em formas solúveis, associado à produção de uma quantidade intermediária de MSPA com baixa relação C:N (tabela 1), que permitiu uma elevada taxa de mineralização dos resíduos.

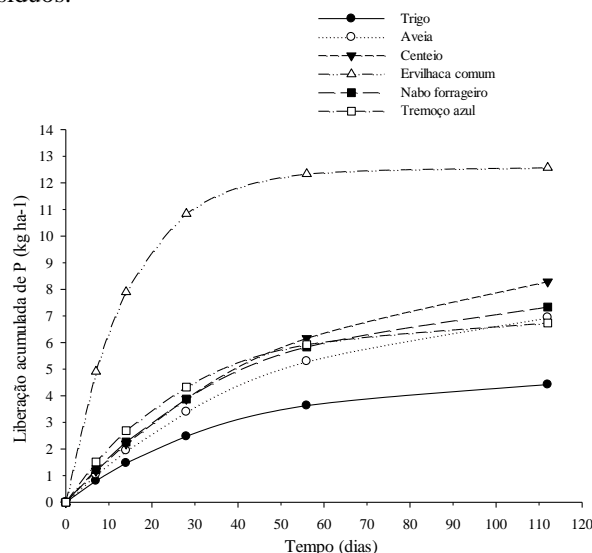


Figura 3 – Liberação acumulada de P a partir de resíduos de plantas de cobertura. Pato Branco, PR, 2011.

O centeio foi à segunda planta com maior liberação acumulada de P (8 kg ha⁻¹). Salienta-se que o centeio obteve a maior produção de MSPA, mas a menor taxa de mineralização, pois seus resíduos possuem elevada relação C:N (Tabela 1). Contudo, conseguiu liberar grande quantidade de P para o solo, o que pode estar relacionado ao acúmulo de P em formas que independem da mineralização do MSPA para ser liberado (Bielecki, 1973; Marsola, 2008). Já o trigo apresentou a menor liberação acumulada de P (4,5 kg ha⁻¹). Aos 112 dias após o manejo das plantas, o nabo forrageiro, o tremoço azul e a aveia apresentaram uma liberação acumulada de P semelhantes (média de 6,8 kg ha⁻¹).

Além do teor total de P liberado dos resíduos de plantas de cobertura, deve ser considerado o seu sincronismo com a absorção do nutriente pela cultura semeada em sequência para um melhor aproveitamento do P. O milho, tradicionalmente cultivado sobre plantas de cobertura de inverno, possui uma marcha de absorção de P proporcional ao aumento do teor de matéria seca da planta, que culmina com o pico de absorção entre 80 e

100 dias após a emergência, requerendo em torno de 30 kg ha⁻¹ (Bull, 1993; Duarte et al., 2003). Nesse sentido, não seria interessante que o P fosse liberado rapidamente dos resíduos culturais, pois a absorção de P pelo milho se distribui em um período de até 100 dias. Caso ocorra a rápida liberação do P dos resíduos e este não seja absorvido pelas plantas cultivadas, o nutriente poderá interagir com a fase mineral do solo, tornando-o indisponível. Conforme Novais e Smith (1999), a transformação rápida das formas orgânicas de P em formas minerais favorecerá a sua adsorção à fase mineral, não sendo interessante para a nutrição das plantas, principalmente em solos com grande capacidade de sorção de P, como solos argilosos e oxídicos.

CONCLUSÕES— A quantidade de P liberado dos resíduos das plantas não é dependente apenas da sua taxa de decomposição e do seu teor total de P.

A ervilhaca comum e o centeio reciclam maior quantidade de P do solo, pois a primeira possui a maior capacidade de acumular P associado a um tecido de fácil decomposição, enquanto a segunda produz elevada quantidade de MSPA. A liberação de P dos resíduos de plantas de cobertura deve ser levada em consideração para reduzir o uso de fertilizantes fosfatados nas culturas cultivadas em sequência.

REFERÊNCIAS

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York, Wiley-interscience, 1984. 398p.
BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 24, 225-252. 1973.
BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.) **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, p.63-145. 1993.
CARVALHO, A.M. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
CASALI, C.A.; KAMINSKI, J.; ARBUGERI, F.E.; PICCIN, R.; DONEDA, A. Mineralização das formas de fósforo do tecido de plantas de cobertura. *Inf. Agrônomicas*, 135:21-24, 2011.
COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do**

Rio Grande do Sul e DE Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre, SBCS - NRS /UFRGS, 2004. 400 p.
DA ROS, C. O. Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. 1993. 85 f. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.
DONEDA, A. Plantas de cobertura de solo consorciadas em cultivo solteiro: decomposição e fornecimento de nitrogênio ao milho. 2010. 79 f. **Dissertação (mestrado)** – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
DUARTE, A.P.; KIEHL, J.C.; CAMARGO, M.A.F.; RECO, P.C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. *Rev. Bras. de Milho e Sorgo*, v.2, n.3, p.1-20, 2003.
EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**, 2006. 306p.
EMBRAPA – CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: EMBRAPA. Rio de Janeiro. 212 p., 1997.
FROSSARD, E., BROSSARD, M., HEDLEY, M.J.; METHERELL, A. Reactions controlling the cycling of P in soils. In: Tiessen, H. (ed.) **Phosphorus in the Global Environment**. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1995. p.107–135.
GIACOMINI, S.G. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. *Pesq. agropec. Bras.*, v. 38, p.1097-1104, 2003.
MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press. San Diego, 1995. 889 p.
MARSOLA, T. Mineralização de fósforo do adubo verde e sua absorção por plantas de arroz. 2008. 112 f. **Tese (Doutorado)** – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
NOVAIS, R.F. de; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV-DPS, 1999. 399p.
PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2. ed. Califórnia: Academic Press, 1996. cap 7, p. 158-179.
SOLOMON, D., LEHMANN, J., MAMO, T., FRITSCH, F. AND ZECH, W. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land-use changes in the subhumid Ethiopian highlands. *Geoderma*, 105, 21–48, 2002.
SOON, Y. K.; ARSHAD, M. A. Comparison of the decomposition and N and P mineralization of canola, pea and wheat residues. *Biol Fertil Soils* 36:10–17. 2002.
TARAFDAR, J.C. & CLAASSEN, N. Preferential utilization of organic and inorganicsources of phosphorusbywheat plant. *Plant and soil*, 75:285-293, 2005.
WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*. v. 63, p. 1636-1642, 1982.

Tabela 1 – Produção de MSPA, concentração de N, P e relação C:N e C:P do tecido de plantas de cobertura cultivadas em Latossolo Vermelho sob SPD. Pato Branco, setembro de 2011.

Parâmetro	Planta de cobertura					
	Aveia branca	Centeio	Ervilhaca comum	Nabo forrageiro	Tremoço azul	Trigo
MSPA (kg ha ⁻¹)	5.159 c	8.522 a	3.582 c	5.011 c	4.485 c	6.989 b
Carbono (g kg ⁻¹)	419 b	433 a	392 b	394 b	411 b	421 a
Nitrogênio (g kg ⁻¹)	16 c	11 d	36 a	23 c	27 b	10 d
Fósforo (g kg ⁻¹)	2,6 b	1,8 c	4,4 a	2,7 b	2,4 b	1,6 c
Relação C:N	26 b	41 a	11 d	18 b	15 c	45 a
Relação C:P	163 b	235 a	89 c	149 b	173 b	263 a
Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	84 b	91 b	128 a	110 a	124 a	67 b
Fósforo (kg ha ⁻¹)	13 b	16 a	16 a	13 b	11 c	11 c

¹Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scot-Knott a 5% de probabilidade de erro.