

TRABALHO CONTEMPLADO COM O PRÊMIO IPNI BRASIL EM
NUTRIÇÃO DE PLANTAS, CATEGORIA JOVEM PESQUISADOR – 2011

MINERALIZAÇÃO DAS FORMAS DE FÓSFORO DO TECIDO DE PLANTAS DE COBERTURA

*Carlos Alberto Casali¹
João Kaminski³
Fabiano Elias Arbuger²*

*Rogério Piccin²
Alexandre Doneda⁴*

INTRODUÇÃO

A utilização de plantas de cobertura do solo é uma prática que vem ganhando cada vez mais espaço no sistema plantio direto (SPD) adotado nas áreas agrícolas do Sul do Brasil (DONEDA, 2010). Busca-se, por intermédio da manutenção dos resíduos culturais em superfície, a proteção do solo contra a erosão e a ciclagem de nutrientes, diminuindo as perdas por lixiviação no período invernal; melhor aproveitamento dos insumos agrícolas e melhoria nas condições físicas do solo, considerando que as raízes realizam uma escarificação biológica, aumentando a macroporosidade, diminuindo a resistência do solo à penetração e melhorando a infiltração de água (NICOLOSO et al., 2008). Desta forma, é fundamental selecionar plantas de cobertura que atendam tais exigências, bem como conhecer a dinâmica da decomposição e a liberação de nutrientes de seus resíduos culturais.

As plantas apresentam habilidades diferenciadas quanto ao aproveitamento dos nutrientes do solo, as quais se manifestam, principalmente, por alterações na rizosfera. Dentre essas, cita-se a liberação de exudatos orgânicos, a alteração do pH e a associação com micro-organismos, como bactérias diazotróficas e micorrizas. Segundo Paul e Clark (1996), os principais fatores que afetam a taxa de mineralização do resíduo vegetal são a quantidade e a qualidade do substrato. Ao contrário do nitrogênio (N), poucos estudos têm sido realizados de modo a relacionar a taxa de mineralização do fósforo (P) com as características bioquímicas dos resíduos culturais das plantas cultivadas.

De acordo com Barber (1984), a liberação do fósforo orgânico (Po) para a solução do solo é controlada pela taxa de mineralização da matéria orgânica e depende da atividade microbiana. Giacomini et al. (2003) verificaram que a velocidade de liberação de nutrientes dos resíduos culturais durante o processo de decomposição depende da localização e da forma na qual esses nutrientes se

encontram no tecido vegetal, sendo que, para o P, pelo fato dele ser um constituinte da estrutura do tecido vegetal, a liberação apresenta uma íntima relação com a mineralização desses materiais.

Hoghe et al. (1970) citam que a variação do conteúdo de fósforo inorgânico (Pi) no tecido vegetal pode expressar a situação nutricional da planta, considerando que seu aumento se daria apenas quando as exigências para o crescimento tenham sido atingidas. Por outro lado, a estabilidade do P-lipídico pode servir de critério para a seleção de espécies mais tolerantes à deficiência de P (CHISHOLM e BLAIR, 1988). Assim, compreender as formas de acumulação de P no tecido de plantas de cobertura e a dinâmica da sua liberação para o solo pode auxiliar na escolha de espécies para o uso em sistemas com baixo uso de fertilizante solúvel, principalmente para os solos intemperizados e com elevado teor de óxidos, como os que predominam na região Sul do Brasil.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as formas de fósforo acumuladas no tecido vegetal de plantas de cobertura e a sua liberação a partir da mineralização dos seus resíduos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em campo no ano agrícola de 2008/2009, na localidade de Mantiqueira, no município de Não-Me-Toque, RS. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa, conforme classificação de Köppen. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006) e suas características físico-químicas são mostradas na Tabela 1. Anteriormente à implantação do experimento, a área foi cultivada durante dois anos com a sucessão trigo/soja em sistema plantio direto.

Em maio, as plantas de cobertura foram semeadas em plantio direto sobre resíduos culturais de soja. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com dimensões de 20 x 10 m, totalizando 16 parcelas.

Abreviações: Al = alumínio; Ca = cálcio; CTC = capacidade de troca de cátions; H = hidrogênio; K = potássio; Mg = magnésio; MS = matéria seca; N = nitrogênio; Pi = fósforo inorgânico; Pis = P inorgânico solúvel em ácido; Plip = P lipídico; Po = fósforo orgânico; Pos = P orgânico solúvel em ácido; Pres = P residual; Prna = P associado ao RNA; Pts = P total solúvel em ácido; SPD = sistema plantio direto; T = saturação por bases; TAM = Tempo após o manejo das plantas de cobertura.

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor do Instituto Federal Farroupilha, Campus Julio de Castilhos, Julio de Castilhos, RS; Doutorando do PPGCS, Universidade Federal de Santa Maria, RS; email: betocasali@jcfarroupilha.edu.br

² Acadêmico de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

³ Engenheiro Agrônomo, Professor Colaborador do PPGCS, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

⁴ Engenheiro Agrônomo, doutorando do PPGCS, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Tabela 1. Caracterização físico-química do solo onde foi feito o experimento.

Característica	Camada de solo avaliada	
	0-5 cm	5-15 cm
Argila (%)	46	56
pH em água	5,6	5,3
Índice SMP	6,4	6,2
P (mg L ⁻¹)	22,8	20,8
K (mg L ⁻¹)	424	260
Al (cmol _c L ⁻¹)	0,0	0,5
Ca (cmol _c L ⁻¹)	5,9	4,2
Mg (cmol _c L ⁻¹)	2,5	1,8
H + Al (cmol _c L ⁻¹)	2,8	3,5
CTC efetiva (cmol _c L ⁻¹)	9,5	7,2
Saturação por bases (T) (%)	77	65
Matéria orgânica (%)	3,5	2,2

Os tratamentos foram: aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) (A), centeio (*Secale cereale* L.) (C), ervilha forrageira (*Pisum sativum* subsp. *arvense*) (EF) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg) (NF).

Aos 120 dias após a semeadura, quando as plantas estavam em pleno florescimento, realizou-se a coleta do material vegetal, que foram levadas à estufa a 65°C até peso constante. As amostras foram pesadas, moídas em triturador de forragens, subamostradas e moídas novamente em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh e, por fim, moídas em moinho com peneira de 1 mm.

Para avaliar a decomposição dos resíduos culturais, foram colocados resíduos das plantas de cobertura, cortados em pedaços de 19 cm em bolsas de poliéster (0,2 x 0,2 m e malha de 0,5 mm). A quantidade de matéria seca (MS), N, P e carbono (C) colocados inicialmente nas bolsas (Tabela 2) foram estimadas a partir dos resíduos de plantas secados ao ar por uma semana. Em cada parcela foram distribuídas sete bolsas na superfície do solo, sendo coletada uma bolsa aos 7, 14, 21, 28, 57, 117 e 164 dias após a sua distribuição. Para o fracionamento químico de P foram utilizados apenas os resíduos coletados aos 0 e 57 dias.

No material seco e moído, foram determinadas as concentrações de N total e C orgânico por combustão seca em um Auto-analisador Elementar modelo Flash EA 1112. O P total (Pt) do resíduo vegetal em decomposição foi extraído por meio de digestão sulfúrica.

O fracionamento do fósforo do tecido vegetal foi realizado conforme método de Miyachi e Tamiya (1961), seguindo modificações de Hogue et al. (1970) e Pereira et al. (2008). As frações de P obtidas foram: P total solúvel em ácido (Pts) e P inorgânico solúvel em ácido (Pis). Por diferença entre Pts e Pis obteve-se P orgânico solúvel em ácido (Pos), P lipídico (Plip), P associado ao RNA (Prna) e P residual (Pres).

A metodologia de extração iniciou-se com a pesagem de 0,2 g de tecido vegetal seco a 65°C e a adição de 10 mL HClO₄ 0,2 mol L⁻¹ frio (4°C). A mistura foi imediatamente centrifugada a 5.000 g por 10 minutos, o sobrenadante retirado e o resíduo lavado com 5 mL de HClO₄ 0,2 mol L⁻¹ frio (4°C). Da mistura dos sobrenadantes, obteve-se as frações de P solúveis em ácido (Pis, Pts e por diferença, Pos). Após, o resíduo remanescente recebeu 6 mL de uma mistura de etanol-éter-clorofórmio, sendo deixado em banho-maria a 50°C por uma hora. A mistura foi centrifugada a 5.000 g por 10 minutos e o resíduo lavado com 5 mL de éter frio (4°C). Da mistura dos sobrenadantes, obteve-se o Plip. Em seguida, o resíduo remanescente recebeu 6 mL de KOH 0,5 mol L⁻¹ e, após permanecer por 17 horas a uma temperatura de 37°C, adicionou-se 1 mL de HCl 3,0 mol L⁻¹ e 1 mL de HClO₄ 70%. A mistura foi centrifugada a 5.000 g por 10 minutos e o resíduo lavado com 5 mL de HClO₄ 0,5 mol L⁻¹. Os sobrenadantes foram unidos e digeridos com uma mistura de H₂SO₄ e H₂O₂, obtendo-se o Prna. O resíduo remanescente foi digerido com uma mistura de H₂SO₄ e H₂O₂, obtendo-se o Pres, que engloba as frações P associadas ao DNA e às fosfoproteínas. A quantificação de P dos extratos foi realizada conforme método de Murphy e Riley (1962).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração total de P nos resíduos culturais variou de 2,0 a 2,8 mg kg⁻¹, enquanto os de N ficaram entre 13,6 e 29,0 mg kg⁻¹, o que representa relações C/P de 141,1 a 207,5 e C/N de 14,5 a 30,9, respectivamente (Tabela 2). Os valores podem ser considerados amplos, indicando grande diferença na capacidade das plantas em absorver e acumular P e N em relação ao seu conteúdo de carbono orgânico.

O centeio e a aveia, espécies com maior relação C/N e C/P, apresentaram as menores produções de matéria seca por área (3,56 e 2,42 Mg ha⁻¹, respectivamente), acarretando em menores quantidades de P e N reciclados (Tabela 2). Já o nabo forrageiro e a ervilha forrageira apresentaram as maiores produções de matéria seca (8,71 e 5,54 Mg ha⁻¹, respectivamente), o que culminou em maior ciclagem de P e N (Tabela 2).

O Pis, Pos e Pts representam as formas de P mais lábeis do tecido vegetal. As formas inorgânicas de P são liberadas do tecido vegetal sem a necessidade de mineralização, enquanto as formas orgânicas solúveis necessitam da ação de enzimas. O valor da razão Pis:Pos tem uma relação diretamente proporcional à labilidade das formas solúveis do P da planta.

Tabela 2. Composição química e quantidades de matéria seca, C, P e N adicionadas nas bolsas de decomposição em cada tratamento.

Planta de cobertura	Composição					Quantidade adicionada			
	C	P	N	C/N	C/P	MS	C	P	N
	----- (g kg ⁻¹) -----					---- (Mg ha ⁻¹) ----			
Centeio	420,0	2,0	13,6	30,9	207,5	3,56	1,5	7,1	46,3
Aveia	422,5	2,2	18,5	22,8	188,2	2,42	1,0	5,3	44,8
Nabo forrageiro	395,0	2,8	23,9	16,5	141,1	8,71	3,4	24,4	208,2
Ervilha forrageira	420,0	2,4	29,0	14,5	175,0	5,54	2,3	13,4	160,7

O Plip é uma forma de P que será solubilizada somente com a mineralização de moléculas fosfolipídicas, representadas principalmente pelas presentes nas membranas celulares (PEREIRA et al., 2008). Já o Prna pode ser considerado uma fração de P com recalcitrância elevada, pois representa o P associado às estruturas de RNA da planta, as quais apresentam grande estabilidade, sendo que o P somente será solubilizado se ocorrer a destruição da referida estrutura. Pres representa as formas mais estáveis de P do tecido vegetal, pois está associado ao DNA e às estruturas protéicas da planta (HOGHE et al., 1970), e somente serão solubilizadas a partir da mineralização completa do tecido vegetal.

Para os resíduos vegetais coletados no tempo 0, a maior concentração de Pts foi encontrada no nabo forrageiro (2.383 mg kg⁻¹), enquanto o centeio, a aveia e a ervilha forrageira apresentaram valores semelhantes de Pts (média de 1.765 mg kg⁻¹) (Tabela 3). Da mesma forma, o nabo forrageiro e a ervilha forrageira apresentaram a maior (2.069 mg kg⁻¹) e a menor (1.334 mg kg⁻¹) concentração Pis, respectivamente, enquanto o centeio e a aveia apresentaram valores intermediários (1.615 e 1.588 mg kg⁻¹, respectivamente) (Tabela 3). Para o Pos, a ervilha forrageira apresentou o maior teor (471 mg kg⁻¹ ou 26,1% do Pts), enquanto o centeio apresentou a menor quantidade (110 mg kg⁻¹ ou 6,3% do Pts) (Tabela 3).

Ao analisar os resíduos vegetais coletados aos 57 dias após o manejo das plantas, verifica-se que a maior diminuição do teor de Pts se deu no centeio, seguido pela aveia, enquanto a diminuição

menos expressiva foi observada na cultura da ervilha forrageira, seguida pelo nabo forrageiro (Tabela 3). Isso se deve ao fato de que, no centeio, 93% do Pts é constituído por Pis, enquanto para a ervilha forrageira esse valor é de apenas 73%. A maior razão Pis:Pos indica maior labilidade do P do tecido vegetal, o qual pode sair do resíduo sem a necessidade de mineralização. Isso contraria os dados obtidos por Giacomini et al. (2003) que verificaram uma maior concentração de P solúvel em água em plantas leguminosas, como a ervilhaca, e menor na aveia.

Nos resíduos coletados a 0 e aos 57 dias após o manejo, a concentração de Plip foi maior no nabo forrageiro e na ervilha forrageira, as quais são consideradas plantas oleaginosas, enquanto os menores valores foram observados no centeio e na aveia (Tabela 3).

Os maiores teores de Plip, Prna e Pres foram observados na ervilha forrageira, seguidos pelo nabo forrageiro, enquanto os menores teores foram encontrados no centeio, seguido pela aveia (Tabela 3).

Para todas as plantas, foi verificada uma elevação na concentração de Plip, Prna e Pres do resíduo coletado aos 0 para o resíduo coletado aos 57 dias após o manejo. Essas frações de P são mais recalcitrantes por estarem presentes em compostos orgânicos que dependem da mineralização para a liberação de P.

Ao levar em consideração a produção de matéria seca por área das plantas de cobertura e a quantidade de P acumulada no tecido, verifica-se que o nabo forrageiro apresentou o maior acúmulo de P

Tabela 3. Formas de fósforo no tecido vegetal e em resíduos culturais de plantas de cobertura.

Planta de cobertura	TAM ¹ (dias)	Pis ²	Pos ³	Pts ⁴	----- (mg kg ⁻¹) -----					Recuperação ¹⁰ (%)
					Plip ⁵	Prna ⁶	Pres ⁷	Soma ⁸	Ptotal ⁹	
Centeio	0	1.615	110	1.725	105	255	40	2.125	2.024	105
	57	445	151	596	136	334	101	1.167	1.076	108
Aveia	0	1.588	179	1.767	102	342	38	2.249	2.245	100
	57	842	229	1.071	122	610	126	1.929	1.843	105
Nabo forrageiro	0	2.069	314	2.383	158	299	32	2.873	2.802	103
	57	1.467	293	1.760	233	467	152	2.612	2.499	105
Ervilha forrageira	0	1.334	471	1.804	147	557	81	2.590	2.382	109
	57	1.310	401	1.711	227	693	234	2.865	2.830	101

¹ Tempo após o manejo das plantas de cobertura; ² Fósforo inorgânico solúvel; ³ Fósforo orgânico solúvel; ⁴ Fósforo total solúvel; ⁵ Fósforo lipídico; ⁶ Fósforo associado ao RNA; ⁷ Fósforo residual; ⁸ Soma das frações; ⁹ Fósforo obtido por digestão total do tecido vegetal; ¹⁰ Porcentagem de recuperação de fósforo pelo método.

Tabela 4. Formas de fósforo no tecido vegetal e em resíduos culturais de plantas de cobertura.

Planta de cobertura	TAM ¹ (dias)	MS ² acumulada (t ha ⁻¹)	Pis ³	Pos ⁴	Pts ⁵	----- (kg ha ⁻¹) -----				Mineralizado ¹⁰	
						Plip ⁶	Prna ⁷	Pres ⁸	Soma ⁹	P	MS
Centeio	0	3.560	5,7	0,4	6,1	0,4	0,9	0,1	7,6	69	43
	57	2.029	0,9	0,3	1,2	0,3	0,7	0,2	2,4		
Aveia	0	2.420	3,8	0,4	4,3	0,2	0,8	0,1	5,4	60	53
	57	1.137	1,0	0,3	1,2	0,1	0,7	0,1	2,2		
Nabo forrageiro	0	8.710	18,0	2,7	20,8	1,4	2,6	0,3	25,0	58	54
	57	4.007	5,9	1,2	7,1	0,9	1,9	0,6	10,5		
Ervilha forrageira	0	5.540	7,4	2,6	10,0	0,8	3,1	0,5	14,3	48	53
	57	2.604	3,4	1,0	4,5	0,6	1,8	0,6	7,5		

¹ Tempo após o manejo das plantas de cobertura; ² Matéria seca vegetal acumulada aos 0 e aos 57 dias após o manejo das plantas de cobertura; ³ Fósforo inorgânico solúvel; ⁴ Fósforo orgânico solúvel; ⁵ Fósforo total solúvel; ⁶ Fósforo lipídico; ⁷ Fósforo associado ao RNA; ⁸ Fósforo residual; ⁹ Soma das frações; ¹⁰ Fósforo e matéria seca vegetal mineralizados até os 57 dias após o manejo das plantas de cobertura.

(25 kg ha⁻¹), seguido pela ervilha forrageira (14,3 kg ha⁻¹), enquanto a aveia apresentou o menor acúmulo (5,4 kg ha⁻¹), seguida pelo centeio (7,6 kg ha⁻¹) (Tabela 4).

Ao observar a quantidade de P remanescente nos resíduos aos 57 dias após o manejo, verifica-se que o centeio liberou 69% do P acumulado, seguido pela aveia (60%), enquanto a ervilha forrageira e o nabo forrageiro liberaram P mais lentamente (48% e 58%, respectivamente). Contudo, o centeio foi a planta que apresentou menor mineralização da matéria seca, o que indica que as formas de P acumuladas eram preferencialmente inorgânicas e que não dependiam da mineralização da palha para a sua liberação. Já a ervilha forrageira apresentou valores de mineralização de P mais próximos aos de mineralização da matéria seca, indicando que ambas são proporcionais.

Para todas as espécies de plantas e épocas de coleta dos resíduos, o valor do somatório das frações de P_{ts}, P_{lip}, P_{prna} e P_{pres} apresentou um desvio menor que 9% do teor total de P obtido por meio da digestão sulfúrica (Tabela 4). Isso indica que o método de fracionamento químico do P do tecido vegetal conseguiu recuperar a totalidade do P existente, mostrando que as perdas de P no decorrer do processo do fracionamento são desprezíveis.

CONCLUSÕES

1. O fracionamento químico do P do tecido vegetal utilizado no presente estudo é um método confiável e que auxilia na compreensão da dinâmica da liberação de P.

2. As plantas de cobertura acumulam o P de diferentes formas no tecido vegetal, o que interfere na dinâmica de liberação desse elemento.

3. O centeio é a planta que libera o P do tecido com maior velocidade para o solo, enquanto a ervilha forrageira libera o P do tecido de forma mais lenta.

REFERÊNCIAS

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: Wiley-Interscience, 1984. 398 p.

CHISHOLM, R. H.; BLAIR, G. J. Phosphorus efficiency in pasture species. II. Differences in the utilization of P between major

chemical fractions. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 39, p. 817-826, 1988.

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, RS.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

GIACOMINI, S. G.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1097-1104, 2003.

HOGUE, E.; WILCOX, G. E.; CANTLIFFE, D. J. Effect of soil phosphorus levels on phosphate fractions in tomato leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 95, p. 174-176, 1970.

MIYACHI, S.; TAMIYA, T. Distribution and turnover of phosphate compounds in growing chlorella cells. **Plant and Cell Physiology**, v. 2, p. 405-414, 1961.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2. ed. California: Academic Press, 1996. cap. 7, p. 158-179.

PEREIRA, J. M.; CAMBRAIA, J.; FONSECA JÚNIOR, É. M.; RIBEIRO, C. Efeito do alumínio sobre a absorção, o acúmulo e o fracionamento do fósforo em sorgo. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 961-967, 2008.

RECADASTRAMENTO DE ASSINANTES DO JORNAL INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Caro colega,

Informamos que, a partir desta edição do Jornal Informações, novos exemplares somente serão enviados àqueles que já efetuaram o recadastramento. Aqueles que tiverem interesse em continuar recebendo o Jornal e que ainda não se recadastraram, deverão preencher os dados no site <http://info.ipni.net/recadastramento>.

O novo cadastro estará sujeito à aprovação da diretoria do IPNI Brasil.