

Adubação verde como alternativa agroecológica para recuperação da fertilidade do solo

Green manuring as an agroecological alternative for the recovery of soil fertility

Cristiano André Pott¹
Marcelo Marques Lopes Müller²
Patrick Batista Bertelli³

Resumo

A recuperação da fertilidade do solo, especialmente do nutriente fósforo (P) tem custo bastante elevado, principalmente quando utilizadas fontes de adubos solúveis. Portanto, é necessário encontrar alternativas de menor custo para recuperação da fertilidade-P. O objetivo desse trabalho foi de avaliar o potencial de produtividade de fitomassa de espécies de adubos verdes de verão e de inverno submetidas a diferentes condições de adubação-P. Foram conduzidos dois experimentos, um com adubos verdes de verão e outro com adubos verdes de inverno. No primeiro, estudou-se o desenvolvimento de sorgo forrageiro, milho, guandu, crotalária juncea e mucuna anã em condições sem adubação fosfatada (ØP) e com adubação com superfosfato triplo (SFT). O segundo ensaio composto por três tratamentos de adubação-P, (ØP), com fosfato natural (FN) e com superfosfato simples (SFS), utilizando-se os adubos verde de inverno ervilhaca peluda, tremoço branco, nabo forrageiro, azevém, aveia preta, centeio e pousio invernal. No primeiro ensaio, verificou-se não haver interação entre os fatores adubação fosfatada e adubação verde na produtividade de fitomassa, porém houve efeito significativo de adubação fosfatada e de adubos verdes isoladamente, isto é, os adubos verdes responderam significativamente a adubação fosfatada, bem como as produtividades de fitomassa foram diferentes entre as espécies. Além disso, o guandu demonstrou ter potencial de desenvolvimento em solo

¹Eng. Agr. Mestre; Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste; Guarapuava, PR; E-mail cpott@unicentro.br.

² Eng. Agr. Doutor; Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste; Guarapuava, PR.

³ Acadêmico de Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste; UNICENTRO Guarapuava, PR.

pobre em P. No segundo ensaio constatou-se interação entre adubação fosfatada e adubação verde, resultando na maior produtividade de fitomassa do nabo forrageiro quando submetido a FN sendo diferente dos demais tratamentos de adubação-P, evidenciando que essa espécie tem potencial de solubilizar P de fontes pouco solúveis. Já os demais tratamentos de inverno não se diferenciaram entre si com relação ao efeito de adubação fosfatada. No tratamento ØP, as espécies com maior potencial para produzir fitomassa foram a aveia preta e o tremoço branco, destacando-se como espécies de inverno com potencial para recuperação de áreas de baixa fertilidade.

Palavras-chave: ciclagem de nutrientes; recuperação de áreas degradadas; conservação do solo; biodiversidade agrícola; adubação fosfatada.

Abstract

The recovering of soil fertility, particularly in relation to the phosphorus (P) status, is a costly task, especially when soluble fertilizers are used as nutrient source. Therefore, looking for lower cost alternatives to recover the phosphorus status of the soil turns up necessary. The aim of this work was to evaluate the potential of winter and summer green manure species for phytomass production under different conditions of P-fertilization. Two experiments were set up, one with summer and other winter species. On the summer species experiment, the development of *Sorghum sudanense* x *Shorghum bicolor*, *Pennisetum glaucum*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* and *Stizolobium deeringianum* was studied without P-fertilizer (ØP), as a control, and fertilized with triple superphosphate (SFT). On the winter species experiment, treatments were ØP, natural phosphate (FN) and simple superphosphate (SFS), for the following species: *Vicia villosa*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Lolium multiflorum*, *Avena strigosa*, *Secale cereale* and winter fallow. Results of the first experiment showed no interaction between P-fertilization and green manuring over the phytomass production; however, a significative effect was found for P-fertilization and green manure species isolated, with the species responding to P-addition and the phytomass accumulation being different among species. Besides, *Cajanus cajan* revealed to be efficient on growing under conditions of low soil-P. With the data of the second experiment, it was verified a significative interaction between green manuring and P-fertilization, resulting on higher phytomass production of *Raphanus sativus* when using FN in comparison to SFS, differently of the rest of the species which yielded

better with SFS, indicating that *Raphanus sativus* is capable of dissolving partially soluble P-sources. The other winter species did not differentiate from each other in relation to the effect of P-fertilization. Under ØP treatment, species with higher potential for phytomass production were *Avena strigosa* and *Lupinus albus*. Analogously to *Raphanus sativus*, these species stood out as potential winter green manures for recovering land with degraded soil fertility.

Key words: nutrient cycling; land reclamation; soil conservation; agricultural biodiversity; phosphorus fertilization.

Introdução

A preocupação com as questões ambientais está, cada vez mais, gerando discussões no meio agropecuário, que por falta de práticas conservacionistas e pelo manejo inadequado do solo permitiu o surgimento de áreas degradadas, seja devido atividades agrícolas ou pecuárias.

A diminuição da fertilidade do solo é um dos problemas de degradação ambiental em áreas agricultáveis, sendo causada principalmente por manejo inadequado, destacando-se a falta de correção e adubação do solo (MALAVOLTA, 1985), a falta de rotação de culturas (DERPSCH et al., 1991; CALEGARI et al., 1993,) e a erosão hídrica (DERPSCH et al., 1991; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993).

Na região Centro-Sul do Estado do Paraná, tem-se verificado que um dos fatores de maior limitação da fertilidade do solo é o *status* do nutriente fósforo. O fósforo (P) é um nutriente que geralmente limita a produção agrícola nos solos tropicais, embora as amostras de solo submetidas à análise química apresentem teores de 0,005 a 0,2% de fósforo total, que representam quantidades

muito superiores à exigida por qualquer cultura (MALAVOLTA, 1985). Segundo Fassbender (1984), a explicação para isso é a baixa solubilidade dos compostos inorgânicos de P, o que condiciona baixos níveis de P na solução do solo (KUCEY, 1983). Lopes e Cox (1979) acrescentam que, em solos com baixos níveis de P na solução, o processo de adsorção de P pelos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio é o principal fator envolvido em sua fixação.

Em virtude dos baixos teores de P nos solos da região, a prática de adubação fosfatada deveria ser constante. Porém, a recuperação ou construção da fertilidade-P do solo normalmente envolve altos custos. Segundo Malavolta (1985), a correção fosfatada pode ser feita com qualquer adubo, porém é preferível a utilização das fontes mais baratas.

Entre os fosfatos solúveis, o superfosfato simples (16 a 20% de P_2O_5) e o superfosfato triplo (46 a 50% de P_2O_5) são os de maior produção e consumo mundial. O processo industrial de produção de ambos apresenta limitações, sobretudo com relação à matéria prima (recurso natural não renovável) e ao enxofre, este quase que totalmente dependente de importação (GOEDERT e SOUZA, 1986). Devido a esses fatores,

fosfatos menos solúveis têm sido amplamente comercializados e utilizados na agricultura. Porém, os fosfatos naturais, quando aplicados ao solo, ficam sujeitos à ação de microorganismos solubilizadores. Segundo Minhoni et al. (1991), esses microorganismos capazes de solubilizar os fosfatos naturais são muito numerosos, e o processo envolve a excreção de ácidos orgânicos ou inorgânicos, na dependência do metabolismo microbiano envolvido.

Uma alternativa para diminuir os custos com a adubação fosfatada é o emprego de plantas tolerantes à deficiência de P ou que atuam como potencializadoras da solubilização de fontes de fósforo pouco solúveis. Segundo Ernani et al. (2001), algumas plantas utilizadas para cobertura de solo e adubação verde podem ter incorporado tolerância genética a condições de solo de baixa fertilidade, por terem sido cultivadas por muitas décadas em solos ácidos, sem nenhum programa de melhoramento vegetal. A introdução de plantas para adubação verde tolerantes à baixa fertilidade pode representar uma economia no processo de recuperação da fertilidade, pois além da adição de fitomassa (LOURENÇO et al. 1993), promovem a fixação biológica de nitrogênio e a reciclagem de nutrientes (AMADO e WILDNER, 1994, POTT et al., 2004), tanto na camada arável como no subsolo. Além disso, essas espécies promovem altas taxas de cobertura do solo, minimizando os problemas de erosão hídrica (DEBARBA e AMADO, 1997).

Pott et al. (2004) relatam que a maximização do aproveitamento do P pelos adubos verdes pode se dar de diferentes maneiras: (i) utilização de

espécies de adubos verdes tolerantes à deficiência de P no solo; (ii) utilização de espécies de adubos verdes capazes de melhorar o aproveitamento de P de fosfatos naturais; (iii) utilização de adubos verdes para diminuir a fixação de P, especialmente por ação de ácidos orgânicos; (iv) utilização de adubos verdes para maximizar a reciclagem de P.

Ernani et al. (2001), estudando a influência da calagem na produção de matéria seca de adubos verdes, verificaram que muitas espécies têm potencial de desenvolvimento em condições de baixo pH. Como na maioria dos solos ocorre diminuição dos teores de P-extraível quando há aumento de acidez (ERNANI et al., 1996), detém-se que determinadas espécies de adubos verdes tolerantes à acidez do solo podem ser, também, tolerantes a baixos teores de P, podendo ser exploradas para melhorar a ciclagem de P e a eficiência da adubação-P nestes solos.

Defende-se, portanto, a hipótese de que determinadas espécies de adubos verdes têm potencial diferente de mobilização de P, seja ele proveniente de rochas apatitas, ou do P adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio, podendo-se combinar recomendações técnicas de adubação fosfatada com a utilização de adubos verdes para melhorar a eficiência da fosfatagem, bem como para incrementar o potencial produtivo de áreas degradadas, através do processo de reciclagem de nutrientes. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desenvolvimento de espécies de adubos verdes de verão e de inverno em solo com baixo teor de P sob diferentes condições de adubação-P.

Material e Métodos

Dois experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Agronomia, localizado no Centro Politécnico da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, em Guarapuava, município localizado na região Centro-Sul do Estado do Paraná. A altitude da área experimental é de aproximadamente 1041 metros acima do nível do mar, e as coordenadas geográficas são de 25° 23' 26" S e 51° 27' 15" W.

O clima da região é classificado como mesotérmico úmido, sem estação seca e com verões amenos, sendo a temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C. A precipitação média anual é de 2030 mm (GODOY et al., 1976). O solo da área experimental é um LATOSSOLO BRUNO de textura argilosa. Os dados da análise química do solo anterior à instalação dos experimentos na tabela 1, a partir dos quais se vê que o solo apresentava teor de P disponível classificado como baixo (< 3 mg.dm⁻³),

duas arações e duas gradagens, visando a descompactação da área.

Experimento 1

Para avaliar o potencial de desenvolvimento de espécies de adubos verdes de verão em área de baixa fertilidade, utilizou-se delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições. Nas parcelas, onde se estudou o fator adubação fosfatada, foram utilizados dois tratamentos: sem fósforo (ØP); e adubação fosfatada com superfosfato triplo na dose de 100 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (SFT). Nas subparcelas (2,0 x 3,0 m), onde se estudou o efeito do fator adubo verde, foram cultivadas sete espécies de verão: sorgo forrageiro (*Sorghum sudanense* x *Sorghum bicolor*) cv. BRS-800; milheto (*Pennisetum glaucum*) cv. BN-2; guandu (*Cajanus cajan*), cultivares IPR-43 (Anão), IPR-265 e IPR-832; crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*); e mucuna anã (*Stizolobium deeringianum*). A adubação-

Tabela 1. Análise química do solo* antes da implantação do experimento

Profundidade	pH	C	P	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	V
----- cm -----	CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	-----		cmol _c dm ⁻³	-----		%
0 – 20	5,5	26,2	1,1	0,0	5,2	5,0	5,5	0,2	67,3

*C determinado por Walkley-Black; H⁺+Al³⁺ determinado por SMP; P e K⁺ extraídos por Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ extraídos por KCl (1N).

sendo a necessidade de fosfatagem, para esse nível de P, equivalente a 100kg.ha⁻¹ de P₂O₅, conforme recomendação de EMATER-PR (1998). O preparo do solo para a implantação dos experimentos foi realizado sob sistema convencional, com

P foi aplicada a lanço e incorporada com uma gradagem. Todos os tratamentos receberam adubação potássica na dose de 60 kg.ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). A adubação nitrogenada não foi utilizada em nenhum tratamento.

A semeadura dos adubos verdes foi realizada em 10 de janeiro de 2004, seguindo-se recomendação de Calegari et al. (1993) e Monegat (1991). Para se quantificar o efeito do desenvolvimento das espécies quanto à adubação fosfatada, foi avaliada a produção de fitomassa fresca e seca de cada espécie, coletando-se amostras da parte aérea em área de 0,20 m² em dois pontos por subparcela na fase de pleno florescimento das espécies. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas por teste de Tukey.

Experimento 2

Para avaliar o potencial de desenvolvimento de espécies de adubos verdes de inverno em área de baixa fertilidade, utilizou-se o mesmo delineamento do experimento 1. Entretanto, nas parcelas foram testados três tratamentos: a) sem fósforo (ØP); b) adubação fosfatada com superfosfato simples, na dose de 100 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio (SFS); c) adubação fosfatada com fosfato natural reativo Heringer®, na dose de 100 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2% (FN). Nas subparcelas (4,0 x 5,0 m), foram cultivados: ervilhaca peluda (*Vicia villosa*); tremoço branco (*Lupinus albus*); nabo forrageiro (*Raphanus sativus*); azevém (*Lolium multiflorum*); aveia preta (*Avena strigosa*); centeio (*Secale cereale*); e uma testemunha com pousio invernal. A adubação potássica foi realizada em todos os tratamentos na dose de 60 kg.ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). As espécies não leguminosas receberam adubação nitrogenada em cobertura na dose de 40 kg.ha⁻¹ de N (uréia). As espécies de

adubo verde leguminosas não receberam adubação nitrogenada. As adubações potássica e de correção de fósforo foram aplicadas em cobertura e incorporadas por meio de uma gradagem.

As espécies foram semeadas no dia 30 de junho de 2004, seguindo as recomendações de Calegari et al. (1993) e Monegat (1991), sendo conduzidas até a fase de florescimento (22 de outubro de 2004), período em que foi avaliada a produtividade de fitomassa fresca e seca, em área de 0,20 m² em dois pontos por subparcela. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey.

Resultados e Discussão

Adubos verdes de verão

Nas tabelas 2 e 3, respectivamente, verificam-se as produtividades de fitomassa fresca e seca dos adubos verdes de verão sob diferentes níveis de adubação fosfatada. Não houve interação significativa entre adubação-P e adubos verdes de verão. Porém, houve efeito significativo de adubação-P e de adubos verdes isoladamente, isto é, os adubos verdes responderam significativamente a adubação-P, bem como as produtividades de fitomassa (fresca e seca) foram diferentes entre as espécies.

Altas produtividades de fitomassa fresca são importantes, especialmente em sistemas pecuários ou de integração lavoura-pecuária. As gramíneas estivais, como sorgo forrageiro e milheto, tornaram-se populares na região devido a este fator. Na tabela 2, nota-se que, mesmo no tratamento ØP, houve produção de 32125 e 18750 kg.ha⁻¹ de fitomassa

Tabela 2. Produtividade de fitomassa fresca das espécies de adubos verdes de verão, cultivadas sob diferentes formas de adubação fosfatada em área de baixa fertilidade e pobre em P

Adubos Verdes	Adubação fosfatada				Média	
	ØP		SFT			
	kg.ha ⁻¹	% ¹	kg.ha ⁻¹	%	kg.ha ⁻¹	
Sorgo forrageiro BRS-800	32125	62,9	51875	100	42000	a ²
Milheto BN-2	18750	59,8	31333	100	25042	b
Guandu IPR-832	20792	86,9	23917	100	22354	bc
Crotalária juncea	11458	61,1	18750	100	15104	bc
Guandu IPR-43	14125	90,4	15625	100	14875	bc
Guandu IPR-265	16083	160,2	10042	100	13063	bc
Mucuna anã	5958	42,9	13875	100	9917	c
Média	17042* ³		23631			

¹ Percentual de produção de fitomassa da espécie em relação ao tratamento SFT.

² Médias seguidas de letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

³* Média do tratamento ØP difere em relação à média do tratamento SFT (Teste F, $p < 0,05$).

fresca de sorgo forrageiro e milho, respectivamente. Porém, tais culturas também se mostraram responsivas à adubação-P, o que é um benefício ainda maior, principalmente nos sistemas de produção de alta tecnologia. Cabe ressaltar

que estas gramíneas não receberam nenhuma adubação nitrogenada, visando simular o seu desenvolvimento em área degradada.

As leguminosas (guandus IPR-43, IPR-265 e IPR-832, e crotalária juncea)

Tabela 3. Produtividade de fitomassa seca das espécies de adubos verdes de verão cultivadas sob diferentes formas de adubação fosfatada em área de baixa fertilidade e pobre em P

Adubos Verdes	Adubação fosfatada				Média	
	ØP		SFT			
	kg.ha ⁻¹	% ¹	kg.ha ⁻¹	%	kg.ha ⁻¹	
Sorgo forrageiro BRS-800	6667	63,2	10542	100	8604	a ²
Milheto BN-2	4250	60,3	7042	100	5646	ab
Guandu IPR-832	5958	91,7	6500	100	6229	ab
Crotalária juncea	3042	59,8	5083	100	4063	bc
Guandu IPR-43	4042	93,3	4333	100	4188	bc
Guandu IPR-265	4750	165,2	2875	100	3813	bc
Mucuna anã	1500	51,4	2917	100	2208	c
Média	4315* ³	76,9	5613			

¹ Percentual de produção de fitomassa da espécie em relação ao tratamento SFT.

² Médias seguidas de letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

³ * média tratamento ØP difere em relação à média do tratamento SFT (Teste F, $p < 0,05$).

não diferiram estatisticamente do milheto quanto à produtividade de fitomassa (Tabelas 2 e 3), indicando possuírem grande potencial de utilização na região, principalmente em períodos de semeadura tardia de verão, quando já se realizaram as colheitas das culturas comerciais (feijão, girassol e milho). Além de altas produtividades de fitomassa, cabe ressaltar o alto potencial de fixação biológica de nitrogênio dessas leguminosas (SILVA et al., 1985; AITA et al., 1994), bem como a reciclagem de nutrientes (DE MARIA e CASTRO, 1993; POTT et al., 2004) e o incremento de matéria orgânica no solo (CALEGARI et al., 1993), sendo estas características importantes para recuperação de solos degradados.

Apesar de não ter sido constatada interação entre adubação-P e adubos verdes, diferentemente das demais espécies, verificou-se maior produtividade de fitomassa do guandu cv. IPR-265 no tratamento ØP (Tabelas 2 e 3). Verificou-se, também, que os guandus foram os adubos verdes que produziram maior quantidade relativa de fitomassa (%) no tratamento ØP. As cultivares de guandu IPR-832, IPR-43 e IPR-265 produziram no tratamento ØP, respectivamente, 91,7, 93,3 e 165,2 % da fitomassa seca relativa ao tratamento SFT (Tabela 3). Ceretta et al. (1994) obtiveram produção de 5300 kg.ha⁻¹ de fitomassa seca de guandu anão num solo com 6,4 mg.dm⁻³ de P. Além disso, Santos et al. (2001) consideram o guandu como espécie viável para recuperação de solos degradados, pois sua utilização promove o aumento do carbono orgânico. Essas informações ressaltam que o guandu pode ser uma boa alternativa para melhorar a reciclagem

de P nos solos da região de Centro-Sul do Estado do Paraná. Os resultados encontrados revelam que, mesmo em condições de baixa fertilidade e solo pobre em P, algumas espécies, como o guandu, podem se desenvolver bem, podendo ser utilizadas em sistemas de exploração com baixo nível de investimento e utilizadas para recuperação de áreas degradadas.

Adubos verdes de inverno

Os resultados de produtividade de fitomassa fresca e seca das espécies de adubos verdes de inverno podem ser verificados nas tabelas 4 e 5, respectivamente. Houve interação significativa entre adubação-P e adubos verdes, isto é, o comportamento das espécies de adubo verde ocorreu de modo diferente em função das formas de adubação-P. O nabo forrageiro obteve comportamento distinto em relação às demais espécies, sendo a única espécie com produtividade de fitomassa seca estatisticamente diferente nos diferentes tratamentos de adubação-P. A produtividade média de fitomassa seca do nabo forrageiro foi de 5833, 3842 e 1613 kg.ha⁻¹, para os tratamentos FN, SFS e ØP, respectivamente, evidenciando que essa espécie tem potencial diferenciado no aproveitamento do P de fosfatos naturais. Calegari et al. (1993) acrescentam, ainda, que o nabo forrageiro tem elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Porém, essa característica de maior desenvolvimento na presença de fontes naturais ainda é escassa na literatura, sendo, no entanto, comprovada a característica de apresentar sistema radicular pivotante e agressivo, o que já

a torna uma planta bastante interessante para ser utilizada na recuperação de áreas degradadas.

Quanto ao comportamento das demais espécies, aveia preta, centeio, azevém, tremoço branco e ervilhaca peluda não apresentaram diferença quanto ao efeito da adubação-P, podendo-se afirmar, entretanto, que estas espécies têm aptidão para produzir fitomassa em solos pobres em P, sendo que após o manejo e a decomposição dos resíduos, o fósforo orgânico acumulado nessas plantas é mineralizado, procedendo a reciclagem do nutriente. Outros trabalhos já relataram o potencial de desenvolvimento dessas espécies em áreas de baixa fertilidade (LEAL, 1970; DERPSCH e CALEGARI, 1985; MONEGAT, 1991; CALEGARI et al., 1993).

Segundo Henson e Schotch (1968), citados por Monegat (1991), as ervilhacas são mais tolerantes aos solos ácidos que a maioria das leguminosas, sendo a ervilhaca peluda ainda mais rústica do que a ervilhaca comum, podendo se desenvolver também em solos pobres. Calegari et al. (1993) relata produção de 4930 kg.ha⁻¹ de matéria seca de ervilhaca peluda em Latossolo Roxo álico com acidez elevada e baixos teores de fósforo, evidenciando sua rusticidade e capacidade de desenvolvimento em condições de baixa fertilidade. Os tremoços, além de apresentarem uma elevada capacidade de fixar nitrogênio, apresentam alta capacidade de absorção e mobilização de nutrientes do solo, aspecto que os tornam culturas pouco exigentes em fertilidade (DERPSCH e CALEGARI, 1985). O centeio possui maior capacidade de absorção de nutrientes que outros cereais,

sendo capaz de aproveitar elementos menos solúveis (LEAL, 1970). Segundo Calegari et al. (1993), o centeio desenvolve-se bem em solos pobres, embora apresente resposta às adubações. Esses autores acrescentam, ainda, que uma das principais vantagens do centeio é sua rusticidade, desenvolvendo-se em condições de elevada acidez e baixa fertilidade, sendo favorável para uso em áreas degradadas.

Aguilar e Djest (1981) relatam que as leguminosas, quando usam o nitrogênio fixado simbioticamente, revelam um padrão de absorção alcalina, com conseqüente acidificação do meio, proporcionando maior mobilização e disponibilidade do fósforo dos fosfatos naturais. Porém, isso não foi constatado nesse estudo, pois as leguminosas de inverno (tremoço branco e ervilhaca peluda) tiveram o mesmo desempenho estatístico nas três formas de adubação-P (Tabela 4 e 5). Bekele et al. (1983) ressaltam que as leguminosas têm característica de melhor solubilização do fósforo quando comparadas às gramíneas. Porém, nesse experimento, verificou-se que as leguminosas (tremoço branco e ervilhaca peluda) tiveram comportamento semelhante às gramíneas (aveia preta, azevém e centeio), diferenciando-se somente do pousio invernal e do nabo forrageiro, evidenciando que tanto as gramíneas quanto as leguminosas utilizadas durante o inverno têm potencial de crescimento em solos pobres em P, com potencial de reciclagem de nutrientes e recuperação da fertilidade do solo. Acredita-se que esse potencial de produção de fitomassa semelhante entre leguminosas e gramíneas possa ser atribuído à teoria sugerida por

Tabela 4. Produtividade de fitomassa fresca das espécies de adubos verdes de inverno cultivadas sob diferentes formas de adubação fosfatada em área de baixa fertilidade e pobre em P

Adubos verdes	Adubação fosfatada					
	FN		SFS		ØP	
	----- kg.ha ⁻¹ -----					
Nabo forrageiro	41230	a A ¹	25440	a AB	10510	cd B
Aveia preta	23900	b A	17840	abc A	21530	ab A
Centeio	11550	c A	11340	c A	9430	cd A
Azevém	14720	bc A	14190	bc A	11680	bcd A
Tremoço branco	24750	b A	21870	abc A	23550	a A
Ervilhaca peluda	22920	b A	23390	ab A	18920	abc A
Pousio inverno	6190	c A	4840	c A	5760	d A

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ernani et al. (2001) que se referem à tolerância genética dessas espécies a solos degradados.

Analisando-se separadamente as espécies de adubos verdes de inverno no tratamento ØP, verificou-se que as maiores produções de fitomassa seca foram nos tratamentos com

aveia preta e tremoço branco, com 3709 e 3283 kg.ha⁻¹, respectivamente. Esses resultados indicam que essas duas espécies têm alto potencial de desenvolvimento em solos pobres em fósforo, sendo recomendadas para uso em áreas de baixa tecnologia agrícola e para recuperação de áreas degradadas.

Tabela 5. Produtividade de fitomassa seca das espécies de adubos verdes cultivadas sob diferentes formas de adubação fosfatada em área de baixa fertilidade e pobre em P

Adubos verdes	Adubação fosfatada					
	FN		SFS		ØP	
	----- kg.ha ⁻¹ -----					
Nabo forrageiro	5833	a A ¹	3842	a AB	1613	bc B
Aveia preta	3933	b A	3643	a A	3709	a A
Centeio	3807	b A	4185	a A	2863	ab A
Azevém	3025	b A	3431	a A	2481	ab A
Tremoço branco	3558	b A	3114	a A	3283	a A
Ervilhaca peluda	2723	b A	3212	a A	2619	ab A
Pousio inverno	832	c A	685	b A	806	c A

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Conclusões

As espécies de adubos verdes têm potencial de uso para recuperação de áreas de baixa fertilidade, tanto de forma isolada quanto associadas a fontes de fertilizantes pouco solúveis, como os fosfatos naturais. Dentre as espécies estudadas, destacaram-se o guandu, a aveia preta e o tremoço branco para produzirem fitomassa em áreas degradadas pobres em fósforo. Já o nabo forrageiro tem potencial para

maximizar a solubilização de fósforo de fosfatos naturais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Fertilizantes Heringer S/A pelo doação do fosfato natural reativo, e ao Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, pelo fornecimento das sementes utilizadas nos experimentos.

Referências

- AGUILAR, S. A.; DIEST, A. VAN. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline pattern of legumes utilizing symbiotically, fixed nitrogen. *Plant Soil*, Dordrecht,, v.61, p.27-42, 1981.
- AITA, C. CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, p.101-108, 1994.
- AMADO, T. J. C.; WILDNER, L. P. Adubação verde. In: Santa Catarina. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. Manual de uso, manejo e conservação do solo e água. 2 ed. Florianópolis, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina, 1994. p.189-202.
- BEKELE, T.; CINO, B. J.; EHLERT, P. A. I.; VAN DER MASS, A. A.; DIEST, A. VAN. An evaluation of plant-borne factor promoting the solubilization of alkaline rock phosphate. *Plant Soil*, Dordrecht, v.75, p.361-378, 1983.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. São Paulo: Ícone, 3 ed., 1993. 355p.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULINASI, E. A.; WILDNER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ANCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. *A adubação verde no sul do Brasil*. 2ª ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- CERETTA, C. A.; AITA, C.; BRAIDA, J. A. PAVINATO, A. SALET, R. L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, p.215-220, 1994.

DEBARBA, L.; AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p.473-480, 1997.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, p.471-477, 1993.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. *Guia de plantas para adubação de inverno*. Londrina: IAPAR, 1985. 96p. (Documentos, IAPAR, 9).

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, V. *Controle de erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.

EMATER-PR, *Análises de solo: Tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados*. 5ª edição. Curitiba: EMATER,PR, 1998. 64p. (Informação Técnica 31)

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, p.897-904, 2001.

ERNANI, P. R.; FIGUEIREDO, O. R. A.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J. A. Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, p.159-162, 1996.

FASSBENDER, H. W. *Química de suelos*. 4 ed. San José, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1984. 389p.

GODOY, H.; CORREA, A. R.; SANTOS, D. Clima do Paraná. In: IAPAR. *Manual agropecuário para o Paraná*. Londrina. 1976.

GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Avaliação preliminar da eficiência de fosfatos com acidulação parcial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, p.75-80, 1986.

KUCEY, R. M. N. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin alberta soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.63, p.671-678, 1983.

LEAL, J. C. *Plantas da lavoura Sul Rio Grandense*. Porto Alegre: UFRGS, 1970, 321 p.

LOPES, A. S.; COX, F. R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob Cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.3, p.82-88, 1979.

LOURENÇO, A. J. MATSUI, E.; DELISTOIANO, J.; BOIN, C.; BORTOLETTO, O. Efeito de leguminosas tropicais na matéria orgânica do solo e na produtividade do sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, p.263-268, 1993.

MALAVOLTA, E. *Adubos e adubação fosfatada*. Piracicaba: Fertilizantes Mitsui S/A, 1985. 61 p.

MINHONI, M. T. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; EIRA, A. F. Efeito de cinco tipos de matéria orgânica na solubilização microbiana de fosfato de rocha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, p.29-35, 1991.

MONEGAT, C. *Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades*. Chapecó, SC: Ed. do autor, 1991. 337 p.

POTT, C. A. MÜLLER, M. M. L.; BOTELHO, R. V.; FOLONI, J. S. S. Adubação verde em sistemas produtivos agrícolas: ciclagem de nitrogênio, fósforo e potássio. *In: BOTELHO, R.V. Tecnologia na Agropecuária Brasileira: Atualizando Conceitos*. Guarapuava-PR: Unicentro, 2004, v.1, p.155-167.

SANTOS, A. C.; SILVA, I. F.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, A. P.; CAVALCANTE, V. R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, p.1063-1071, 2001.

SILVA, E. M. R.; ALMEIDA, D. L.; FRANCO, A. A. DÖBEREINER, J. Adubação verde no aproveitamento de fosfato em solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, p.85-89, 1985.