

CRESCIMENTO DA SOJA EM UM ARGISSOLO DO CERRADO DE REDENÇÃO (PA), EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO POR BASES E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA¹

**Rita de Cássia Lemos da SILVA²
Francisco Ilton de Oliveira MORAIS³**

RESUMO: Foi determinado o efeito da aplicação de níveis crescentes de fósforo (P) e de diferentes saturações de bases de um Argissolo Vermelho amarelo no crescimento da soja. As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade para três litros de solo durante 50 dias. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com os tratamentos arranjos em um fatorial 4 x 4, com a aplicação de quatro doses de P (0; 30; 60; 90 mg. kg⁻¹ de solo) em quatro saturações de bases do solo (20; 40; 60 e 80 %), com quatro repetições. A aplicação de fósforo aumentou a produção de massa seca da parte aérea e das raízes. A interação do fósforo com a saturação por bases aumentou a produção de massa seca total e das raízes da soja, demonstrando que a calagem foi mais importante para o crescimento do sistema radicular do que para a parte aérea da planta. O melhor tratamento foi a aplicação de 67 mg P.kg⁻¹ em 54,23% de saturação por bases do solo. O incremento na produção de matéria seca da soja foi correlacionado significativamente (p<0,01) com a disponibilidade de fósforo no solo, aumento das concentrações de nitrogênio, fósforo e redução dos teores de ferro e manganês no tecido foliar.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Calagem, Fósforo, Solo Tropical, Amazônia

GROWTH OF SOYBEAN IN A SAVANNAH SOIL OF REDENÇÃO, PA, BRAZIL AS A FUNCTION OF BASE SATURATION AND PHOSPHATE FERTILIZER APPLICATION.

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the effects of levels of phosphate fertilizer and different base saturations on growth of soybean in a savannah soil under greenhouse conditions. Six soybean plants were grown in pots with 3 liters of soil for 50 days. A 4 x 4 factorial experimental design with four replicates was used. Treatments were the application of four levels of P (0, 30, 60, 90 mg.kg⁻¹ of soil) in four base saturations of the soil (20, 40, 60, 80%). The results showed that P application and the interaction P x base saturation increased growth of soybean. The highest growth was obtained by the application of 67 mg P. kg⁻¹ in 54,2 % base saturation of the soil. Growth of soybean was correlated (p<0,01) with available P of the soil, increases in N, P and reduction of Fe and Mn in the tissue of plants.

INDEX TERMS: Liming, Phosphorus, Tropical Soil, Amazon Basin

¹ Aprovado para publicação em 16.06.2004

Extraído da Dissertação apresentada pelo primeiro autor para obtenção do grau de Mestre na FCAP em 2001

² Engenheira Agrônoma, M. Sc., E-mail: flemoss@amazon.com.br

³ Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor Visitante da UFRA. E-mail: filton@ig.com.br

1 INTRODUÇÃO

No estado do Pará, os cerrados cobrem 5,7 milhões de hectares abrangendo vários municípios, entre os quais Redenção, principal pólo econômico do Sudeste paraense (PARÁ, 1994). Os solos encontrados em Redenção são os Latossolos, os Argissolos, os Cambissolos e os Gleissolos. O Argissolo é o solo predominante na região, sendo caracterizado pela acidez elevada e deficiência de nutrientes, especialmente fósforo (COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM, 1995).

A toxidez de alumínio e a deficiência de fósforo são os principais problemas para o aumento da produtividade de espécies vegetais cultivadas em solos ácidos de cerrado. O alumínio em quantidades tóxicas pode inibir o crescimento das raízes, diminuir a absorção de cálcio, magnésio, a translocação de fósforo na planta e aumentar a fixação de fósforo no solo (GAMA, 1996).

A neutralização do alumínio trocável e dos íons de hidrogênio dissociados é feita pela aplicação de calagem em quantidade que depende dos valores encontrados para o pH, Al, Ca + Mg, H + Al ou da saturação de bases do solo (RAIJ, 1981). A calagem, além de neutralizar o alumínio do solo e fornecer cálcio e magnésio como nutrientes, pode aumentar a disponibilidade de fósforo no solo (SOUZA; LOBATO; MIRANDA, 1993). O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para a produção de grãos, entretanto a sua disponibilidade em solos sob vegetação de cerrado é muito baixa,

constituindo-se a sua aplicação uma etapa essencial na obtenção de altas produtividades. Sem o fósforo, a produtividade da cultura da soja é baixa, há a redução no porte da planta e na altura de inserção das primeiras vagens (TANAKA; MASCARENHAS, 1992; SOUZA; LOBATO; MIRANDA, 1993; MASCARENHAS et al, 1996).

Kamprath (1984) observou que, em solo do cerrado, a calagem promoveu a insolubilização de alumínio e manganês trocáveis e aumentou a disponibilidade de outros nutrientes, a exemplo do fósforo. Lovadini, Bulisani e Mascarenhas (1977) verificaram que houve aumento de produção de matéria seca de soja perene após adição de calcário e superfosfato simples. Fernandes (1995) e Rosolem e Marcello (1998) obtiveram interação positiva entre fósforo e calagem, com respostas acentuadas de produção de matéria seca até a saturação de bases de 45%. Sfredo et al (1996), por outro lado, recomendam elevar a saturação de bases do solo de cerrado de Balsas (MA), para 56%. Vidor e Freire (1972) afirmam que há uma relação de substituição positiva entre a adubação fosfatada e a aplicação de calcário, na qual o aumento de um insumo provoca a melhor eficiência de utilização do outro pelas plantas.

Em função dos resultados promissores que o cultivo da soja vem apresentando em regiões de cerrado do Brasil, o governo do estado do Pará criou um pólo de produção de grãos no município de Redenção (PARÁ, 1994). Entretanto, as informações sobre a

quantidade a ser aplicada de calcário e fósforo na cultura da soja no Pará são inexistentes, sendo as recomendações em uso adaptadas de outras regiões.

O objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos de doses de fósforo e diferentes saturações de bases, devido à calagem, no crescimento de plantas de soja (*Glycine max* L. (Merril)) cultivadas em um Argissolo Vermelho Amarelo do cerrado de Redenção, no Sudeste do Pará.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, utilizando-se sementes de soja da cultivar Seridó, plantadas em vasos contendo três litros da camada arável (0 – 20cm) de um Argissolo Vermelho Amarelo (CPRM, 1995), coletado sob vegetação de cerrado do município de Redenção, Pará. A análise do solo mostrou as seguintes características: 56 dag. kg⁻¹ de areia; 9 dag.kg⁻¹ de silte; 35 dag.kg⁻¹ de argila; 4,8 de pH (H₂O); 10 mg.kg⁻¹ de P; 5,6 cmol_c.dm⁻³ de H + Al; 0,2 cmol_c.dm⁻³ de K; 0,6 cmol_c.dm⁻³ de Ca, 0,2 cmol_c. dm⁻³ de Mg; 1,0 cmol_c. dm⁻³ de soma de bases (SB); CTC (pH 7,0) de 6,6 cmol_c.dm⁻³ e 15 % de saturação de bases.

O delineamento experimental usado foi blocos casualizados, com arranjo de tratamentos em um fatorial 4 x 4, com quatro doses de P (0; 30; 60 e 90 mg. kg⁻¹ de solo), quatro saturações por bases (20; 40; 60, e 80%) do solo e quatro repetições. Inicialmente foi feita a aplicação das

quantidades de CaCO₃ e MgCO₃, na proporção de 3:1, para obtenção dos tratamentos de saturação por bases do solo e efetuada a incubação por, aproximadamente, 30 dias. As quantidades de calcário foram calculadas de acordo com a fórmula de Raij (1981).

Após a incubação foram colocadas 12 sementes por vaso e, após 15 dias, realizado o desbaste para 6 plantas. Estas plantas receberam uma adubação básica contendo 5 mg. L⁻¹ de Zn (ZnSO₄); 1 mg. L⁻¹ de B (H₃BO₃); 1,5 mg. L⁻¹ de Cu (CuCl₂); 1,5 mg. L⁻¹ de Mn (MnCl₂); 30 mg. L⁻¹ de K (KCl) e 200 mg. L⁻¹ de N (NH₄NO₃), juntamente com as doses de 0; 30; 60 e 90 mg.kg⁻¹ de P na forma de KH₂PO₄.

A coleta das plantas foi realizada aos 50 dias após o plantio, quando foi separada a parte aérea da raiz. A parte aérea foi cortada junto da superfície do solo, sendo as raízes retiradas através da lavagem do conteúdo dos vasos. O material foi lavado com água destilada, acondicionado em sacos de papel etiquetados e identificados, depois colocados em estufa com circulação forçada de ar, na temperatura de 65 °C, até atingir peso constante para determinação da massa seca e análise química de nutrientes.

As variáveis analisadas foram produção de biomassa seca total, da parte aérea, das raízes e o teor de nutrientes da parte aérea da planta; no solo foram determinados o pH, as concentrações de cátions trocáveis e o fósforo disponível. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico NTIA

desenvolvido pela Embrapa. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão, de acordo com Gomes (1985). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey aos níveis de 1 e 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de crescimento da soja mostraram que a aplicação de fósforo aumentou significativamente ($p < 0,01$) a produção de massa seca da parte aérea

e que houve interação significativa ($P < 0,05$) fósforo x saturação por bases do solo na produção de massa seca total e de raízes, demonstrando que a calagem foi mais importante para o crescimento do sistema radicular do que para a parte aérea da planta (Tabela 1). O efeito positivo da interação do fósforo com a calagem na produção de massa seca foi também obtido por Carvalho et al. (1988) e Fernandes (1995) em leguminosas tropicais.

Tabela 1 – Produção de massa seca da soja em função dos tratamentos*.

Doses de P Mg kg ⁻¹	Saturação por bases (%)				Média
	20	40	60	80	
	Parte Aérea (g vaso ⁻¹)				
00	12,6	13,2	10,8	11,9	12,1 b
30	12,9	17,2	18,9	14,6	15,9 a
60	15,1	16,4	16,5	17,3	16,3 a
90	15,7	15,9	18,1	16,5	16,6 a
Média	14,1 A	15,7 A	16,1 A	15,0 A	-
	Raízes (g vaso ⁻¹)				
00	2,5 aA	2,9 bA	2,4 cA	2,8 bA	2,7 b
30	2,9 aB	4,1 abAB	4,9 aA	3,5 abB	3,9 a
60	2,6 aB	4,0 abA	3,4 bcAB	4,6 aA	3,7 a
90	2,9 aB	4,7 aA	4,1 abAB	4,4 aA	4,0 a
Média	2,7 B	3,9 A	3,7 A	3,8 A	-
	Total (g.vaso ⁻¹)				
0	15,2 aA	16,1 bA	13,2 bA	14,7 bA	14,8 b
30	15,8 aC	21,3 aAB	23,9 aA	18,1 abBC	19,8 a
60	17,7 aA	20,4 abA	19,9 aA	21,8 aA	19,9 a
90	18,7 aA	20,7 abA	20,2 aA	21,0 aA	20,6 a
Média	16,8 B	19,6 A	19,8 A	18,9 AB	-

* Letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey. Média de quatro repetições.

A análise de regressão da produção de massa seca da parte aérea da soja devido à adubação fosfatada mostrou o ajuste dos dados aos modelos linear, quadrático, cúbico e hiperbólico. O modelo quadrático de regressão apresentou erro padrão dos coeficientes angulares e significância estatística da mesma magnitude do que o modelo linear, porém, com maior coeficiente de determinação (R^2); menores erros e maior significância estatística dos coeficientes angulares do que os modelos cúbicos e hiperbólicos (Tabela 2).

A seleção do modelo de regressão para fins de predição deve preencher dois critérios básicos: i) ajuste dos dados à equação de regressão, definido pela significância estatística dos desvios da regressão e valor do coeficiente de determinação; ii) qualidade do ajuste, relacionado à significância estatística dos

coeficientes angulares da equação, magnitude do erro padrão desses coeficientes ou, ainda, a distribuição aleatória dos resíduos produzidos pelo modelo (MONTGOMERY; PECK, 1992).

A relação entre o crescimento da parte aérea da soja e as doses de fósforo na equação quadrática de regressão ($p < 0,01$) indica que a produção de massa seca aumentou com a aplicação de fósforo, alcançando o valor máximo de 16,8 g.vaso⁻¹ na dosagem de 67 mg de P.kg⁻¹ de solo (Figura 1). Rosolem e Marcello (1998) obtiveram, também, aumentos de massa seca da parte aérea da soja em função da aplicação de fósforo até a dosagem de 200 mg de P.kg⁻¹ de solo. Essa diferença na dosagem de P para a produção máxima pode estar relacionada com diferenças na capacidade de fixação de fósforo entre os solos usados.

Tabela 2 – Resultados da avaliação estatística dos modelos de regressão obtidos no ajuste dos dados de massa seca da parte aérea da soja.

Modelo de regressão	Coefficientes	Estimativa	Erro padrão	t	Pr>t
Linear ($R^2=0,46$)	P	0,046	0,013	3,41	<0,0021
Quadrático ($R^2=0,61$)	P	0,134	0,042	3,22	<0,0034
	P ²	0,001	0,0044	-2,22	<0,0231
Cúbico ($R^2=0,63$)	P	0,22	0,103	2,11	<0,0268
	P ²	-0,0004	0,003	-1,20	<0,1268
	P ³	0,00002	0,00002	0,89	<0,1964
Hiperbólico ($R^2=0,25$)	1/P	95,74	43,77	2,19	<0,0231

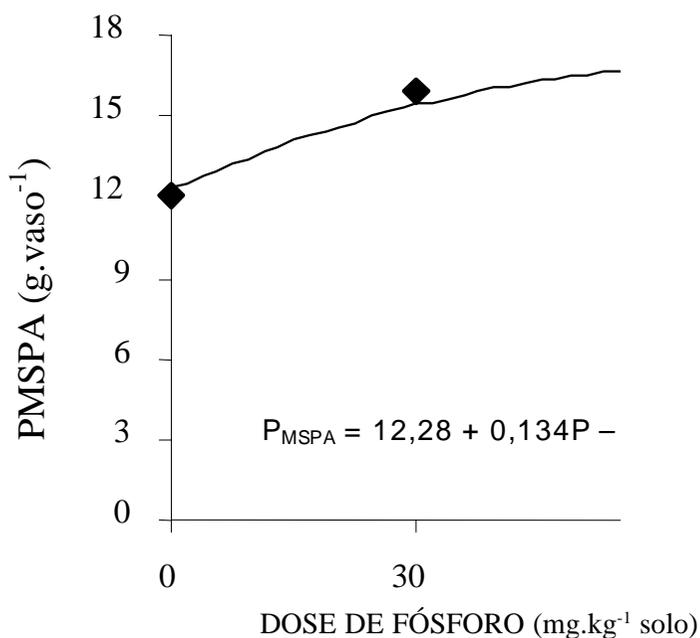


Figura 1 – Produção de massa seca da parte aérea (PMSPA) da soja, cv. Seridó, cultivada no Argissolo Vermelho Amarelo, em função da aplicação de P.

A Tabela 3 mostra as equações de regressão da massa seca total e das raízes da soja em função da interação doses de P x saturação por bases do solo e a saturação por bases do solo para a produção máxima de biomassa total e de raízes da planta, utilizando como dosagem de P a obtida para a produção máxima de massa seca da parte

aérea da soja, ou seja, 67 mg P.kg⁻¹ de solo. A maior produção de massa seca total de soja (21,7 g vaso⁻¹) foi obtida na saturação por bases do solo de 54,2%, quando o teor de alumínio foi praticamente neutralizado e aumentou a disponibilidade de cálcio, magnésio e potássio no argissolo, conforme descrito por Silva e Morais (2004).

Tabela 3 – Equações de regressão da produção de massa seca total e de raízes da soja.*

Produção	Equação de regressão	MSTM	SB
		g vaso ⁻¹	%
MST	$Y = 9,57 + 0,17P - 0,0013P^2 + 0,23Sb - 0,00Sb^2$ $R^2 = 0,69^{**}$	21,7	54,2
MSR	$Y = 0,85 + 0,013P + 0,083Sb - 0,0007Sb^2$ $R^2 = 0,56^{**}$	4,12	68,6

* MST = Massa seca total; MSR = Massa seca da raiz; MSTM = Massa seca total máxima; SB = Saturação de bases para a produção máxima de massa seca.

A produção de massa seca da soja correlacionou-se positivamente ($P < 0,05$) com a disponibilidade de fósforo do solo, com os teores de nitrogênio, fósforo, e negativamente ($P < 0,05$) com os teores de ferro e manganês no tecido da planta (Tabela 4).

A correlação positiva com a disponibilidade de fósforo do solo e com os teores de nitrogênio e fósforo do tecido da

soja ratificou o efeito da adubação fosfatada e da calagem sobre esses atributos. A correlação negativa da produção de massa seca da soja com os teores de ferro e manganês no tecido confirma que o aumento da saturação de bases do solo reduziu a toxicidade desses nutrientes no solo do cerrado (SILVA; MORAIS, 2004).

Tabela 4 – Coeficientes de correlação entre a produção de matéria seca com as características químicas do solo e os teores de nutrientes na planta.

Variáveis	Produção de matéria seca		
	Total	Parte aérea	Raíz
pH solo	0,18	0,12	0,34
MO solo	-0,15	-0,07	-0,15
P solo	0,59 *	0,59 *	0,51 *
K solo	0,36	0,30	0,48
Ca solo	0,25	0,17	0,43
Mg solo	0,20	0,14	0,34
Al solo	-0,31	-0,24	-0,46
N planta	0,57 *	0,61 *	0,39
P planta	0,48 *	0,43	0,55 *
K planta	0,47	0,49	0,34
Ca planta	0,24	0,18	0,36
Mg planta	0,02	0,01	0,03
Cu planta	0,37	0,38	0,28
Fe planta	-0,38 *	-0,28	-0,57 *
Mn planta	-0,29 *	-0,20	-0,51 *
Zn planta	-0,21	-0,11	-0,44

Nota: significativo ao nível de 5%.

4 CONCLUSÃO

a) a produção de massa seca da soja foi aumentada pela adubação fosfatada e pela interação fósforo x saturação de bases do solo, sendo o maior crescimento da planta obtido pela aplicação de 67 mg P.kg^{-1} em 54,2% de saturação por bases do solo;

b) o incremento na produção de massa seca da soja foi correlacionado significativamente com a disponibilidade de fósforo no solo, aumento da concentração de nitrogênio, fósforo e redução dos teores de ferro e manganês no tecido foliar;

c) esses resultados constituem uma indicação preliminar da necessidade de calagem e fósforo para o cultivo da soja em argissolo do cerrado de Redenção, havendo a necessidade de repetição do experimento em condições de campo para a confirmação dos dados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, M. M.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, F. T. T.; MARTINS, C. E. Respostas de leguminosas forrageiras tropicais à calagem e ao fósforo em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 12, p. 153-159, 1988.

COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. *Levantamento de reconhecimento de solos e aptidão agrícola das terras. Município de Redenção*. Belém: PRIMAZ, 1995. 56p.

FERNANDES, A. R. *Resposta de três leguminosas tropicais herbáceas ao fósforo e à calagem em um latossolo amarelo de Belém-PA*. 1995. 97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – FCAP, Belém, 1995.

GAMA, J. R. N. F. *O alumínio trocável de um solo Podzólico vermelho Amarelo do Acre e sua absorção pelas plantas*. 1996. 58p. Dissertação (Mestrado) – ESALQ, Piracicaba, 1996.

GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Nobel, 1985. 466p.

KAMPRATH, E. J. *Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils*. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO: Bases para utilização agropecuária, 4., 1976, Brasília. DF. São Paulo: Ed. da USP; Belo Horizonte; Itatiaia, 1977.

LOVADINI, L. A. C.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. Efeito de níveis de calagem, fósforo e potássio na produção de matéria seca de soja perene (*Glycine wightii*, verde) em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.1, n.1, p. 31-34, 1977.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V.; AMBROSANO, G. M. B.; CARMELO, Q. A. C. Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, quantidades exigidas e exportadas de nutrientes por alguns cultivares de soja. *Scientia Agrícola*, v. 53, n.1, p. 164-171, 1996.

MONTGOMERY, D.; PECK, E. A. *Introduction to linear regression analysis*. New York: J. Wiley, 1992. 527p.

PARÁ. Secretaria de Estado de Agricultura. *1º pólo agroindustrial de soja, sudeste paraense*. Belém, 1994. 16p.

RAIJ, B. Van. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 142 p.

ROSOLEM, C. A.; MARCELLO, C. S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. *Scientia Agrícola*, v. 55, n.3, p.448-455, 1998.

SFREDO, G. J.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; GOMES, E. R.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Resposta de soja a fósforo e a calcário em Podzólico Vermelho Amarelo de Balsas – MA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, n.3, p. 429- 432, 1996.

SILVA, R. C. L.; MORAIS, F. I. O. Interação do fósforo e da saturação de bases na composição mineral da soja e nas características químicas de um argissolo do Cerrado de Redenção, Pa. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, n. 41, jan/jun. 2004. No prelo.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; MIRANDA, L. N. Correção do solo e adubação da cultura da soja. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, D. I. M. *Cultura da soja nos cerrados*. São Paulo: POTAFOS, 1993. p. 137- 159.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. *Soja: nutrição, correção do solo e adubação*. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 60p.

VIDOR, C.; FREIRE, J. R. J. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a fixação simbiótica do nitrogênio pela soja (*Glycine max* (L) Merrill). *Agron. Sulriogr.*, Porto Alegre, v. 7, p.181-190, 1972.