



Avaliação do aproveitamento do fósforo por feijão comum de diferentes profundidades do solo ⁽¹⁾.

Nericlenes Chaves Marcante⁽²⁾; Alinne da Silva⁽³⁾; Takashi Muraoka⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

⁽²⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP, Piracicaba, SP, marcante@usp.br; ⁽³⁾ Professora adjunta I da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA); ⁽⁴⁾ Professor Titular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA/USP.

RESUMO: O Feijão é a leguminosa de maior importância na alimentação humana, fornecendo nutrientes essenciais para milhões de pessoas ao redor do mundo. No entanto, a produção dessa cultura pode ser limitada pela baixa heterogeneidade da distribuição do fósforo (P) no perfil do solo. As raízes possuem plasticidade morfológica para adaptar-se a heterogeneidade da distribuição dos nutrientes no solo. O objetivo desse estudo foi avaliar a absorção e utilização do P a partir de diferentes profundidades do solo através da dupla marcação radioisotópica (³²P e ³³P), com baixa e alta disponibilidade de P (10 e 100 mg kg⁻¹, respectivamente). Duas cultivares (eficiente e ineficiente em utilizar P) de feijão foram avaliadas em condições de casa de vegetação. Foram realizadas marcações com ³²P e ³³P em diferentes camadas de solo nos vasos. Houve diferença significativa entre as cultivares de feijão quando cultivadas no baixo e alto P. A cultivar Embaixador foi mais eficiente no uso de P no baixo P, absorvendo maior parte do P das camadas superiores dos vasos, sendo essa cultivar também a mais responsiva à aplicação de P. A disponibilidade de P no solo influenciou significativamente na capacidade de absorção e recuperação (%Pppf) do P de diferentes profundidades do solo. Houve variabilidade genética entre as cultivares de feijão na absorção e utilização de P das camadas superficiais e profundas do solo.

Termos de indexação: Disponibilidade de fósforo, radioisótopos, sistema radicular.

INTRODUÇÃO

A baixa disponibilidade de P no solo é uma das principais limitações para o crescimento das plantas em ecossistemas terrestres. O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura que desempenha papel estratégico no âmbito econômico e social do Brasil (Silva et al., 2014; Fageria et al., 2011). Entretanto, a produtividade dessa cultura é severamente afetada pela baixa fertilidade do solo, especialmente a baixa disponibilidade de P.

Uma alternativa de aumentar a produção agrícola é através do desenvolvimento de novas

variedades, aliadas com boas práticas de manejo, permitindo que as plantas sejam mais eficientes na absorção e utilização dos nutrientes, principalmente o P (Schröder, et al., 2011).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência de absorção de P de cultivares de feijão comum a partir de diferentes profundidades do solo através da dupla marcação radioisotópica com ³²P e ³³P, e testar a hipótese de que a disponibilidade de P no solo interfere na capacidade das plantas de absorverem P de diferentes camadas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Solo

Foi utilizado um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico coletado na camada 0-20 cm. As características químicas do solo foram: pH (CaCl₂) 4,0; P, 5,0 mg dm⁻³ (resina); matéria orgânica, 27 g dm⁻³; S, 12 mg dm⁻³; K; Ca; Mg; Al e Al + H foram 0,5; 10,0; 4,0; 4,0 e 64 mmol_c dm⁻³, respectivamente, e Cu, Fe, Zn, Mn e B foram 0,8; 101,0; 2,3; 2,9 e 0,7 mg dm⁻³, respectivamente. As características físicas foram: argila, silte e areia 210, 20 e 770 g kg⁻¹, respectivamente.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições em um esquema fatorial 2 x 2 x 3 (2 cultivares, 2 níveis de P e 3 marcações com radioisótopos). Os fatores foram dois níveis de P: 10 mg kg⁻¹ (baixo) e 100 mg kg⁻¹ (alto), duas cultivares com diferentes eficiências em absorver e utilizar o P, BRS Embaixador (eficiente) e BRS Estilo (ineficiente), e três marcações radioisotópicas com ³²P e ³³P (Figura 1). A dupla marcação do solo permitiu, por contagem simultânea nas plantas, verificar de qual camada do solo a planta absorveu mais ou menos P. O ³²P é um radioisótopo do P que emite partículas β⁻ com alta energia (1,71 Mev), podendo ser detectado em cintilador líquido através do efeito Cerenkov, já o ³³P é um radioisótopo do P que emite partículas β⁻ com baixa energia (0,249 Mev), necessitando da adição de solução cintiladora no extrato vegetal para sua detecção no cintilador líquido.

As doses de P (10 mg e 100 mg kg⁻¹) foram aplicadas utilizando a fonte KH₂PO₄. Foi aplicado 10



mg kg⁻¹ de N. Foi aplicado 10 mg kg⁻¹ de K somente nos vasos que receberam 10 mg kg⁻¹ de P na forma de KH₂PO₄ para igualar a quantidade aplicada nos vasos que receberam 100 mg kg⁻¹ de P.

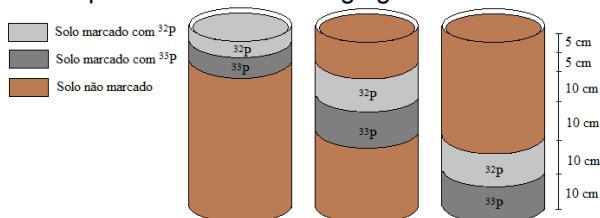


Figura 1 – Camadas de solos com marcação dos radioisótopos (³²P e ³³P)

A parte aérea das plantas foi colhida aos 45 dias após emergência (DAE), secas a 60° C por 72 horas, pesadas para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA), moídas e submetidas à digestão nitro-perclórica. O P foi determinado por meio do método colorimétrico do metavanadato.

A atividade específica (Ae) do ³²P e do ³³P foi calculada conforme equações descritas por Larsen (1952). A porcentagem de P na planta proveniente do fertilizante aplicado no solo (%Pppf) foi calculado conforme descrito por Vose (1980).

$$A_e = \frac{{}^{33}\text{P ou } {}^{32}\text{P}}{{}^{31}\text{P}}$$

Ae = atividade específica do radioisótopo (DPM mg⁻¹ P); ³²P ou ³³P = DPM; ³¹P = fósforo acumulado na planta (mg planta⁻¹).

$$\% \text{ Pppf} = \frac{\text{Ae da planta}}{\text{Ae do fertilizante}} \times 100$$

% Pppf é a porcentagem de fósforo na planta proveniente do fertilizante aplicado no solo; Ae da planta é a atividade específica do radioisótopo (³²P ou ³³P) na MSPA de planta; Ae do fertilizante é a atividade específica do radioisótopo (³²P ou ³³P) presente no momento que o fertilizante foi aplicado.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste de comparações entre as médias (T-student) e análises de correlação de Pearson utilizando o pacote estatístico SAS®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo de cultivar na maioria das variáveis, exceto para Ae (³²P), Ae (³³P) (Tabela 1). Somente a ΔP não foi influenciada significativamente pelo efeito dose de P (Tabela 1). O efeito tratamento (marcação isotópica) influenciou a Ae e %Pppf das cultivares (Tabela 1).

Na dose com baixo P, a cultivar Embaixador apresentou maior MSPA e PA nos três tratamentos quando comparado com a BRS Estilo (Tabela 1). Não houve diferença significativa entre as cultivares

para ambas Ae (³²P) e Ae (³³P) nos três tratamentos na dose com baixo P, exceto Ae (³²P) no tratamento 1, onde a cultivar Embaixador foi significativamente maior do que a BRS Estilo (Tabela 1).

A dose com baixo P diminuiu a %Pppf nos três tratamentos para as duas cultivares de feijão comparado com a dose com alto P (Figura 2A-F). A %Pppf variou de 5,81 a 18,04 % nos três tratamentos na dose com baixo P (Figura 2A-C).

A dose com alto P proporcionou maior variabilidade para %Pppf. A faixa de variação observada foi de 12,47 a 53,53 %, sendo que os maiores valores foram para ambas cultivares no tratamento 1 para %Pppf (³³P) (Figura 2D), e os menores foram obtidos pela cultivar Embaixador na tratamento 3 para %Pppf (³²P) e %Pppf (³³P) (Figura 2F).

A cultivar Embaixador foi mais eficiente na %Pppf (³²P) no tratamento 1 (Figura 2A), enquanto que a BRS Estilo apresentou maiores valores de %Pppf (³²P) no tratamento 2 (Figura 2C). Não foi observado diferença significativa para o tratamento 2 nas duas doses de baixo P (Figura 2B e 2E).

No tratamento 1, na dose com baixo P, a cultivar Embaixador apresentou valor de %Pppf (³²P) duas vezes maior (15,93%) do que a cultivar BRS Estilo (7,26%) (Figura 2A). No tratamento 3 na dose com alto P a cultivar BRS Estilo apresentou os maiores valores para %Pppf (³²P) e %Pppf (³³P) (Figura 2F).

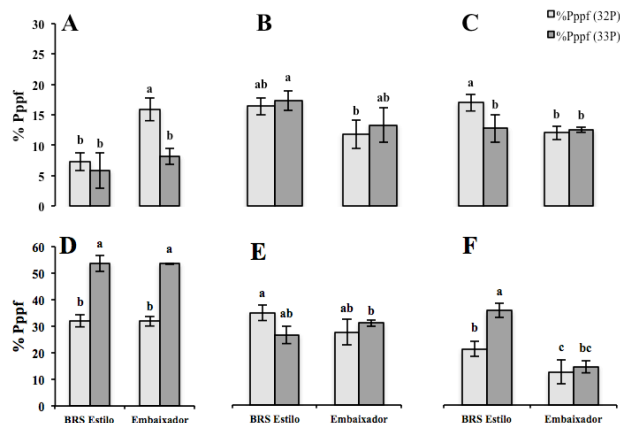


Figura 2 – Porcentagem de fósforo recuperado proveniente do fertilizante aplicado no solo (%Pppf) para as cultivares de feijão nas diferentes camadas marcadas com os radioisótopos ³²P e ³³P. Tratamento 1 (A); Tratamento 2 (B); Tratamento 3 (C) na dose de 10 mg kg⁻¹ de fósforo. Tratamento 1 (D); Tratamento 2 (E); Tratamento 3 (F) na dose de 100 mg kg⁻¹ de fósforo.

As cultivares de feijão diferiram quanto a capacidade de absorção de P (%Pppf) a partir de diferentes profundidades do solo. No tratamento com baixo P as cultivares obtiveram maior aproveitamento do P na camada de 0-20 cm, e no alto P na camada de 0-10 cm. Esses resultados confirmam a hipótese de que a disponibilidade de P no solo interfere na capacidade da planta em



absorver P a partir de diferentes profundidades do solo.

Quando a disponibilidade de P no solo foi alta, as plantas absorveram mais P da camada superior, isso possivelmente, possibilitou maior economia de investimentos metabólicos na construção de raízes profundas, e permitiu maior investimento na produção da parte aérea (Gregory, 2006). Resultados semelhantes foram demonstrados para a capacidade de absorção de P (^{32}P) em plantas de soja e laranja, que diminui rapidamente com o aumento da profundidade da aplicação do P, e chegou a 1% abaixo de 55 cm (Zhou et al., 2009).

A atividade específica do radioisótopo do P na biomassa da planta é proporcional a atividade das raízes em suas respectivas camadas de solo, assumindo que o ^{32}P e ^{33}P foram absorvidos pelas raízes ativas da planta (Wahid, 2001). Os radioisótopos ^{32}P e ^{33}P são adequados como marcadores de solos para estudos de absorção de P pelas raízes, pois são elementos relativamente imóveis no solo, o que permite a absorção do elemento a partir do local onde foi aplicado no solo, ao mesmo tempo são móveis na planta assegurando uma rápida translocação, isso permite a avaliação da quantidade absorvida de diferentes profundidades do solo, e para quais partes da planta o P foi transportado.

Os resultados das cultivares de feijão confirmaram que as leguminosas apresentam maior capacidade de absorção de P na superfície do solo (0-10 cm), conforme descrito por Lynch & Brown, 2006, onde eles categorizam essa característica como "topsoil foraging", ou seja, as plantas investem mais fotoassimilado na construção de raízes na camada superior do solo, onde geralmente há maior concentração ou teor de P, principalmente devido a usual fertilização fosfatada na superfície do solo, maior acúmulo de resíduos vegetais, maior teor de matéria orgânica e elevada atividade de microrganismos (York et al., 2013). Genótipos de feijão com raízes mais superficiais foram mais produtivos do que genótipos com raízes profundas em experimentos de campo e casa de vegetação com variação de disponibilidade de P no solo (Rubio et al., 2003).

CONCLUSÕES

As cultivares de feijão variaram quanto à capacidade de absorção e utilização de P nos dois níveis de P no solo. A disponibilidade de P no solo influenciou significativamente na capacidade de absorção e recuperação (%Pppf) do P de diferentes profundidades do solo. Houve variabilidade genética

entre as cultivares de feijão na absorção de P das camadas superficiais e profundas do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (2011/18628-0) e pela bolsa de estudo no país (2011/09039-1) concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- GREGORY, P. *Plant Roots: growth, activity and interaction with soil*. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 308p.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; HEINEMANN, A. B. Lowland rice genotypes evaluation for phosphorus use efficiency in tropical lowland. *Journal of Plant Nutrition*. 34:1087–1095, 2011.
- LARSEN, S. The use of ^{32}P in studies of the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 4:1-10, 1952.
- LYNCH J. P. & BROWN K. M. Whole plant adaptations to low phosphorus availability. In: HUANG, B., ed. *Plant-Environment Interactions*. New York: CRC Press, 2006. p. 209-242.
- RUBIO, G.; HONG, L.; YAN, X.; LYNCH, J. P. Topsoil foraging and its role in plant competitiveness for phosphorus in common bean. *Crop Science*, 43: 598-607, 2003.
- SCHRÖDER, J. J.; SMIT, A. L.; CORDELL, D.; ROSEMARIN, A. Improved phosphorus use efficiency in agriculture: A key requirement for its sustainable use. *Chemosphere*, 84:822-831, 2011.
- SILVA, D. A.; ESTEVES, J. A. F.; MESSIAS, U.; TEIXEIRA, A.; GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M. Efficiency in the use of phosphorus by common bean genotypes. *Scientia Agricola*. 71: 232-239, 2014.
- VOSE, P. B. *Introduction to nuclear techniques in agronomy plant biology*. London: Pergamon Press, 1980. 391p.
- WAHID, P. A. Radioisotope studies of root activity and root-level interactions in tree-based production systems: a review. *Applied Radiation and Isotopes*, 54:715-736, 2001.
- YORK, L. M.; NORD, E. A.; LYNCH, J. P. Integration of root phenes for soil resource acquisition. *Frontiers in Plant Science*, 4:355-370, 2013.
- ZHOU, W. J.; ZHANG, Y.; WANG, K.; LI, H.; HAO, Y.; LIU, X. Plant Phosphorus Uptake in a Soybean-Citrus Intercropping System in the Red Soil Hilly Region of South China. *Pedosphere*, 19:244-250, 2009.



Tabela 1 - Análise de variância para matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de fósforo na planta [P], fósforo acumulado na parte aérea (PA), atividade específica do ^{32}P (Ae ^{32}P), atividade específica do ^{33}P (Ae ^{33}P), porcentagem do fósforo proveniente do fertilizante na camada marcada com ^{32}P (%Pppf ^{32}P), porcentagem do fósforo proveniente do fertilizante na camada marcada com ^{33}P (%Pppf ^{33}P) de duas cultivares de feijão comum

Efeito	G.L	Quadrado Médio						
		MSPA	[P]	PA	Ae (^{32}P)	Ae (^{33}P)	%Pppf (^{32}P)	%Pppf (^{33}P)
Cultivar	1	271.7 ^{***}	6.03 ^{**}	4742.8 ^{***}	12403275 ^{ns}	470920887 ^{ns}	27.87 ^{ns}	41.30 [*]
Dose de P	1	734.9 ^{***}	0.3 ^{ns}	16192.13 ^{***}	3438806171 ^{***}	26582561700 ^{***}	1187.26 ^{***}	5431.19 ^{***}
Trat. (T)	2	13.2 ^{ns}	0.4 ^{ns}	515.32 ^{ns}	91613888 [*]	741725585 [*]	199.28 ^{***}	468.14 ^{***}
C x P	1	32.1 ^{**}	1.0 ^{ns}	1034.58 [*]	1729633 ^{ns}	546601722 ^{ns}	112.85 ^{**}	116.85 ^{**}
C x T	2	9.2 [*]	0.1 ^{ns}	315.95 ^{ns}	139067709 ^{**}	17077711 ^{ns}	90.45 ^{**}	156.58 ^{***}
P x T	2	2.2 ^{ns}	0.8 ^{ns}	395.84 ^{ns}	121855335 [*]	1596795271 ^{**}	254.17 ^{***}	1085.66 ^{***}
C x P x T	2	3.9 ^{ns}	0.1 ^{ns}	153.67 ^{ns}	114825575 ^{ns}	38309720 ^{ns}	3.96 ^{ns}	125.76 ^{ns}
Erro	24	2.7	0.3	206.6	24377670	207499237	246.29	177.90
CV %		16	12	32	37	39	16	12

*, **, *** significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade pelo T-test.

Tabela 2 - Médias observadas de matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de fósforo na planta [P], fósforo acumulado na parte aérea (PA), atividade específica do ^{32}P (Ae ^{32}P), atividade específica do ^{33}P (Ae ^{33}P), porcentagem do fósforo proveniente do fertilizante na camada marcada com ^{32}P (%Pppf ^{32}P), porcentagem do fósforo proveniente do fertilizante na camada marcada com ^{33}P (%Pppf ^{33}P) de duas cultivares de feijão comum em baixo P (10 mg kg⁻¹) e alto P (100 mg kg⁻¹)

Cultivar	Trat.	MSPA	[P]	PA	Ae (^{32}P)	Ae (^{33}P)	%Pppf (^{32}P)	%Pppf (^{33}P)
BRS Estilo	1	3.20 ^b	5.41 ^a	17.45 ^b	10425.43 ^b	36140.69 ^a	7.26 ^b	5.81 ^a
BRS Embaixador		5.94 ^a	4.34 ^a	27.84 ^a	22884.72 ^a	50544.78 ^a	15.93 ^a	8.13 ^a
BRS Estilo	2	4.09 ^b	4.92 ^a	17.31 ^b	30050.49 ^a	76651.22 ^a	17.13 ^a	12.33 ^a
BRS Embaixador		8.02 ^a	3.59 ^b	27.80 ^a	25914.21 ^a	86287.30 ^a	18.04 ^a	13.88 ^a
BRS Estilo	3	3.52 ^b	5.36 ^a	18.79 ^b	31478.96 ^a	56954.36 ^a	16.95 ^a	12.04 ^a
BRS Embaixador		7.67 ^a	4.26 ^b	34.61 ^a	18318.98 ^a	77994.41 ^a	12.75 ^b	12.55 ^a
Alto P (100 mg kg ⁻¹)								
BRS Estilo	1	10.86 ^b	4.94 ^a	40.51 ^a	4439.45 ^a	13862.14 ^a	31.99 ^a	53.53 ^a
BRS Embaixador		15.91 ^a	4.05 ^a	64.63 ^a	4419.43 ^a	15288.60 ^a	31.85 ^a	53.44 ^a
BRS Estilo	2	12.80 ^b	5.12 ^a	63.52 ^a	4617.99 ^a	8125.66 ^a	33.28 ^a	25.34 ^a
BRS Embaixador		19.31 ^a	4.62 ^a	86.65 ^a	3641.94 ^a	7651.58 ^a	26.25 ^a	29.55 ^a
BRS Estilo	3	8.60 ^b	5.11 ^a	44.59 ^b	2940.96 ^a	8096.39 ^a	21.19 ^a	35.82 ^a
BRS Embaixador		19.19 ^a	5.06 ^a	98.37 ^a	1730.36 ^b	5465.21 ^a	12.47 ^b	14.46 ^b

Médias seguidas da mesma letra na coluna dentro do Tratamento não diferem significativamente (P < 0.05) baseado no T-test.