

DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO AFETANDO O DESENVOLVIMENTO E ABSORÇÃO DE FÓSFORO PELO TOMATEIRO¹

PAULO CEZAR REZENDE FONTES²

RESUMO - A localização do fósforo no solo é importante fator a considerar na adubação das culturas. Poucos trabalhos mostram o efeito de fertilizar com fósforo diferentes volumes de solo sobre a produção de matéria seca, absorção de matéria seca, absorção de fósforo, distribuição e morfologia das raízes do tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). Com o objetivo de verificar esse efeito é que se instalaram os presentes experimentos. Foram realizados três experimentos, em vasos. No primeiro aplicaram-se seis níveis crescentes de fósforo em todo o solo. No segundo, 60 mg P/kg solo foram aplicadas em 12,5%; 25%; 50% e 100% do solo contido nos vasos. No terceiro, a mesma quantidade de fósforo por vaso, 60 mg P/kg solo, foi aplicada em decrescentes porções de solo. A produção de matéria seca e o acúmulo de fósforo foram maiores quando todo o solo foi fertilizado, embora o fósforo tenha sido mais eficientemente utilizado pelas plantas quando colocado apenas em parte do solo. Nesta situação, a produção de matéria seca e o acúmulo de fósforo foram máximos quando 25% do solo foi fertilizado. O peso de raízes secas e o comprimento de raízes foram maiores na porção fertilizada do solo, onde as raízes foram mais finas e a área radicular foi maior. À medida que o volume de solo fertilizado com fósforo decresceu houve uma relativa compensação no desenvolvimento da área radicular.

Termos para indexação: *Lycopersicon esculentum*, área radicular, proporção de solo fertilizado.

TOMATO ROOT GROWTH AND PHOSPHORUS UPTAKE AS AFFECTED BY PHOSPHORUS PLACEMENT

ABSTRACT - Phosphorus placement is an important factor to be considered in crop fertilization. Few studies have investigated the effects of varying the P-fertilized soil volume on tomato (*Lycopersicon esculentum*) growth, P uptake and root morphology. To investigate these effects three experiments were undertaken, in pots. In the first, six P levels were applied throughout the soil. In the second, 60 mg/kg of P of soil was applied in a central column in 12.5%; 25%; 50% and 100% of the volume of the pot. In the third, a constant amount of P, 60 mg/kg of P soil, was applied in decreasing volumes of soil. The highest dry matter production and P uptake were obtained when all the soil was fertilized although P uptake efficiency was higher when only portion of the soil was fertilized. In that situation, the highest dry matter production and P uptake were obtained when 25% of the soil was fertilized. Root dry weight and root length were stimulated in P-fertilized soil. Also in the P-fertilized soil the roots were thinner and the root surface larger.

Index terms: *Lycopersicon esculentum*, root surface, soil portion fertilized.

INTRODUÇÃO

Em solos com média a alta capacidade de absorção de fósforo, a sua aplicação localizada no sulco de plantio, comparada com a aplicação à lanço, tem a vantagem de protegê-lo contra reações irreversíveis de adsorção. Também, a aplicação localizada do fertilizante contendo fósforo, pode induzir maior proliferação de raízes na área fertilizada, porém, menor área de solo estará à disposição das raízes já que a mobilidade do fósforo no solo é muito limitada.

Apesar da maior proliferação de raízes na zona fertilizada, é possível indagar se, em um solo com baixa disponibilidade de fósforo fora da zona fertilizada, haveria desenvolvimento ótimo da planta. Embora os dados experimentais sejam escassos, algumas evidências mostram que grande proporção do sistema radicular deve estar exposta ao fósforo em ordem de, adequadamente, suprir às necessidades das plantas (Jungk & Barber 1975). Ademais, há um determinado valor de concentração de fósforo na solução do solo, acima da qual a taxa de absorção não é aumentada, sendo essa capacidade máxima de influxo, uma característica fisiológica da raiz, pertinente às espécies e cultivares. Também, com o excessivo aumento no suprimento de fósforo às plantas, a taxa de absorção

¹ Aceito para publicação em 6 junho de 1986.

² Eng. - Agr., Ph.D., Bolsista do CNPq, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Caixa Postal 216, CEP 36570 Viçosa, MG.

pelas raízes tende a decrescer (Fontes & Barber 1984).

Há na literatura inúmeros experimentos mostrando maior produção de culturas quando a aplicação do fósforo é localizada, em comparação com a aplicação à lanço. Por outro lado, existem aqueles que mostram o inverso. Entretanto, são raros os experimentos que procuram investigar os efeitos de fertilizar com o fósforo diferentes volumes de solo.

Os objetivos dos presentes experimentos foram estudar os efeitos da distribuição de fósforo entre os extremos de aplicação, à lanço e em faixa, sobre a produção de matéria seca, absorção de fósforo, distribuição e morfologia das raízes do tomateiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Três experimentos foram conduzidos utilizando-se amostras superficiais de um solo franco siltoso de estrutura granular média. O teor inicial de fósforo disponível, Bray-1, foi 2 ppm. O pH foi 6,5 e o teor de umidade, a 1/3 bar, foi 28%. Amostras de solos foram peneiradas, secas ao ar e fertilizadas com 100 ppm de N e K, utilizando-se o NH_4NO_3 e KCl, respectivamente. A fonte de fósforo para atingir as concentrações estabelecidas nos experimentos foi o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Após a aplicação dos fertilizantes ao solo adicionou-se água até se atingir a capacidade de campo. Cada tratamento foi colocado em sacos plástico e incubados por 72 horas a 70°C para acelerar a taxa de adsorção de fósforo (Barrow 1979). Após o período de incubação, 2 kg de solo foram colocados em vasos, obedecendo-se o plano experimental. No primeiro experimento, seis níveis de fósforo foram aplicados ao solo, 0, 60, 120, 240, 480 e 960 mg de P por kg de solo. No segundo experimento, 60 mg P/kg solo foram aplicadas a 12,5%; 25%; 50% e 100% do solo contido nos vasos. Como a concentração de fósforo foi a mesma na porção fertilizada, a quantidade total de fósforo no vaso aumentou com o aumento na proporção de solo fertilizado. No terceiro experimento, a mesma quantidade de fósforo foi aplicada por vaso, 60 mg P/kg solo, porém em diferentes porções de solo, 100%, 50%, 25%, 12,5% e 6,25%. Como a quantidade total de fósforo aplicado por vaso foi a mesma, a concentração de fósforo na zona fertilizada cresceu com a redução da proporção de solo fertilizado. Obtiveram-se as diferentes proporções de solo fertilizado, colocando-se duas chapas de metal separando verticalmente o solo não fertilizado daquele que recebeu fósforo. Após o enchimento dos vasos, as chapas de metal foram retiradas. Separando o solo fertilizado do não fertilizado ficaram telas finas de fibra de vidro que permitiam o crescimento livre das raízes em qualquer parte do vaso. Os vasos foram colocados na casa de vegetação obedecendo-se a um es-

quema de blocos ao acaso e três repetições. Diariamente os vasos foram reorganizados em cada bloco.

Em seguida, fez-se o plantio das sementes de tomate, cultivar Kada. Cinco dias após a emergência das plantas fez-se o desbaste para quatro plantas por vaso. Os vasos foram irrigados diariamente com água desmineralizada. Trinta dias após a emergência, fez-se a colheita das plantas, separando-se parte aérea e raiz. Anotou-se o peso das raízes frescas e mediu-se o comprimento das mesmas utilizando-se o método de Tennant (1975). As partes aéreas e as raízes foram colocadas em estufa, a 70°C, anotando-se seus pesos secos. Após a moagem, os tecidos das plantas foram digeridos com H_2SO_4 e H_2O_2 e analisados para o fósforo (Murphy & Riley 1962). A área radicular (AR) foi calculada pela fórmula $AR = 2\pi rC$, sendo r o raio e C o comprimento da raiz, ambos expressos em cm. O raio da raiz foi calculado pela fórmula $r = (PF/\pi C)^{1/2}$, sendo PF o peso da raiz fresca, expresso em gramas. Essa fórmula é usada na pressuposição de raiz com gravidade específica igual a 1 g.cm^{-3} e forma cilíndrica (Claassen & Barber 1976). Os parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância e quando houve efeito significativo dos tratamentos ($P < 0,05$) fez-se a comparação entre médias utilizando-se o teste de Tukey ($P = 0,05$).

RESULTADOS

A produção de matéria seca na parte aérea do tomateiro, em função da concentração de fósforo no solo, foi maior quando essa foi mantida em todo solo fertilizado (Exp. 1) ao invés de mantê-la apenas em parte do solo (Exp. 3, Fig. 1A). Esse efeito, associado aos resultados da concentração de fósforo no topo das plantas e nas raízes, proporcionaram menor acúmulo de fósforo pelas plantas que cresceram em solo parcialmente fertilizado com fósforo (Fig. 1B).

No solo totalmente fertilizado, a produção de matéria seca na parte aérea da planta, atingiu o máximo, 12,3 g/vaso, com a aplicação de 605 mg de P/kg de solo ou 1.210 mg/vaso de P. Esse mesmo parâmetro, com o solo parcialmente fertilizado, atingiu o máximo, 6,8 g/vaso, com a aplicação de 640 mg de P/kg de solo ou 120 mg/vaso de P. Portanto, quando o fósforo foi aplicado apenas em parte do solo, ele foi mais eficientemente utilizado do que aplicado em todo o solo como mostram também os dados de peso da matéria seca e de acúmulo de fósforo na planta por unidade de fósforo aplicado em cada vaso, Tabela 1.

Esses resultados mostram que a prática de localizar o fertilizante fosfatado aumentou a eficiência de sua utilização porém acarretou menor produção de matéria seca. Estudos com milho fei-

tos por Fox & Kang (1978) não suportam o conceito de que economia em fertilizante é obtida como resultado da aplicação localizada do fertilizante fosfatado, a não ser quando doses subótimas de

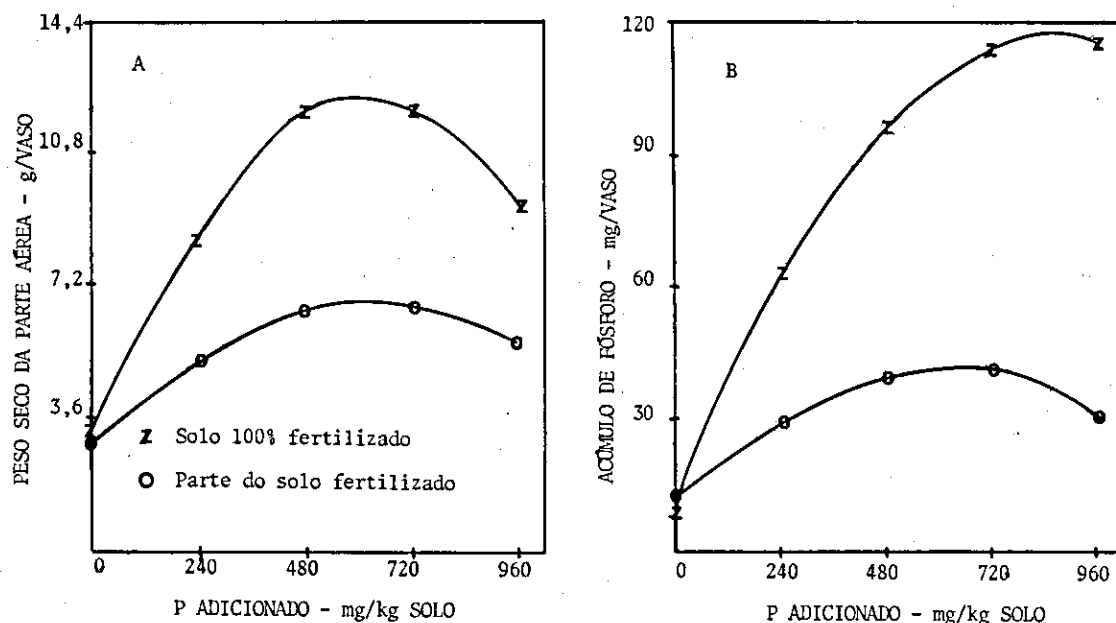


FIG. 1. Peso seco da parte aérea (1A) e acúmulo de fósforo pelo tomateiro (1B) em função da quantidade e da distribuição de fósforo no solo.

1A:

$$Y = 3,286 + 0,02968X - 0,0000245X^2 \quad R^2 = 0,80 \quad (Z)$$

$$Y = 2,873 + 0,01215X - 0,0000095X^2 \quad R^2 = 0,88 \quad (O)$$

1B:

$$Y = 9,297 + 0,25997X - 0,000154X^2 \quad R^2 = 0,95 \quad (Z)$$

$$Y = 9,482 + 0,1018X - 0,0000811X^2 \quad R^2 = 0,89 \quad (O)$$

TABELA 1. Acúmulo de matéria seca e de fósforo por plantas de tomateiro em função de níveis de fósforo adicionados ao solo.

Fósforo adicionado	Peso da matéria seca		Acúmulo de fósforo	
	Parte do solo fertilizado	Solo completamente fertilizado	Parte do solo fertilizado	Solo completamente fertilizado
mg de P/kg de solo	mg/g de P adicionado		mg/g de P adicionado	
60	38	37	0,22	0,20
120	47	25	0,29	0,16
240	53	18	0,34	0,13
480	37	12	0,20	0,10
960	32	5	0,18	0,06

fósforo são utilizadas. Hipp (1970) mostra produções mais altas de tomate quando baixos níveis de fósforo foram aplicados de forma localizada, em comparação com aplicação à lanço. Com a aplicação de níveis mais elevados, a exemplo do encontrado por Sobulo et al. (1978), os dois métodos tenderam a igualarem-se. Segundo Dibb (1978) o conceito de localização mais adequado do fósforo não é consistente, é difícil de ser generalizado e varia dependendo da cultura, do nível de fertilização e do solo.

Quando a mesma concentração de fósforo foi aplicada em diferentes volumes de solo (Exp. 2), implicando em crescentes quantidades de P por vaso com o aumento na proporção de solo fertilizado, houve aumento no peso da parte aérea seca (Fig. 2A), e no acúmulo de fósforo pelas plantas (Fig. 2B), com o aumento na proporção de solo fertilizado. Com a mesma quantidade de fósforo aplicada em cada vaso, em diferentes volumes de solo (Exp. 3), obtendo-se pois diferentes concentrações de fósforo na porção fertilizada, houve aumento no peso da parte aérea seca (Fig. 2A), e no acúmulo de fósforo pelo tomateiro (Fig. 2B), até 25% do solo fertilizado. De acordo com Barber (1980), o efeito da aplicação localizada do fósforo torna-se mais vantajoso, em relação à aplicação

em todo o solo, à medida que a proporção de solo fertilizado com P é reduzida até um ponto ser atingido quando a taxa de suprimento de fósforo às raízes, pela porção fertilizada do solo, aproximar-se do influxo máximo destas raízes. E, em ordem de maximizar a absorção de fósforo pela planta o fertilizante fosfatado deve ser aplicado de tal modo que a maior parte das raízes entrem em contacto com o fertilizante aplicado. Entretanto, ao se desejar reduzir a quantidade de fósforo fixada pelo solo, este deverá ser aplicado em pequena porção de solo. Desde que estes dois pontos são conflitantes, deve haver um compromisso entre eles. No presente experimento, na quantidade de fósforo aplicada, a incorporação do fertilizante fosfatado, em 25% do solo, propiciou melhores resultados em termos de produção de matéria seca e de acúmulo de fósforo.

O peso das raízes secas e o seu comprimento foram estimulados na porção fertilizada do solo, onde as mesmas foram também mais finas e, conseqüentemente, a área radicular foi maior (Tabela 2).

Quando a concentração de P na porção fertilizada foi a mesma, isto é, quando colocou-se crescentes quantidades de fósforo em cada vaso, a

TABELA 2. Peso de raízes secas, comprimento, raio, densidade e área radicular do tomateiro em função de porções do solo fertilizado ou não com fósforo.

Porção do solo fertilizado	Distribuição das raízes				Raio da raiz		Área radicular		Densidade de raiz	
	Peso seco		Comprimento		Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3
	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3						
	----- % -----				--- 10 ⁻² cm ---		--- cm ² ---		cm ² .dm ⁻³ solo	
100	100	100	100	100	1,64	1,74	820 a	850 a	411 bc	425 d
50 - P	43	42	44	41	1,69	1,76	357 cd	369 d	429 b	515 c
50 + P	57	58	56	59	1,59	1,72	428 bc	513 c	357 cd	368 de
75 - P	66	69	63	68	1,65	1,83	480 bc	582 c	517 a	534 c
25 + P	34	31	37	32	1,53	1,77	259 de	268 e	320 de	388 d
87,5 - P	80	86	79	78	1,55	1,82	550 b	689 b	560	602 b
12,5 + P	20	14	21	22	1,47	1,49	140 e	151 f	314	393 d
93,75 - P	—	91	—	14	—	1,66	—	582 c	—	672 a
6,25 + P	—	9	—	86	—	1,37	—	84 f	—	311 ef
0	100	100	100	1000	1,62	1,73	536 b	572 c	268 e	286 f

* Médias na mesma coluna seguidas por diferentes letras são significativamente diferentes ao nível de 5% de probabilidade de pelo teste de Tukey.

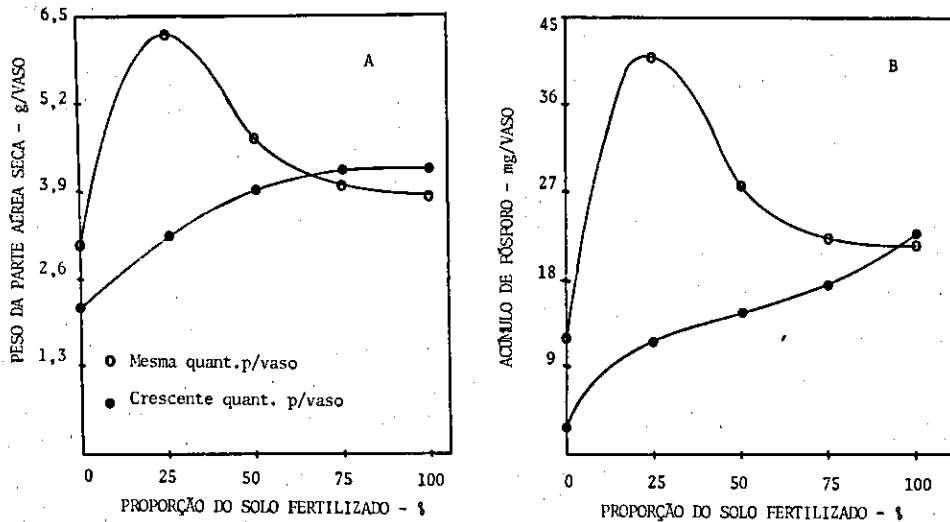


FIG. 2. Peso da parte aérea seca (2A) e acúmulo de fósforo pelo tomateiro (2B) em função da quantidade de fósforo e da proporção de solo fertilizado.

2A:

$$Y = 3,04 + 0,298X - 0,00789X^2 + 0,0000499X^3 \quad R^2 = 0,65 \text{ (○)}$$

$$Y = 2,13 + 0,0523X - 0,0003257X^2 \quad R^2 = 0,80 \text{ (●)}$$

2B:

$$Y = 11,82 + 2,675X - 0,07128X^2 + 0,0004549X^3 \quad R^2 = 0,66 \text{ (○)}$$

$$Y = 2,87 + 0,0620X - 0,0118X^2 + 0,0000758X^3 \quad R^2 = 0,99 \text{ (●)}$$

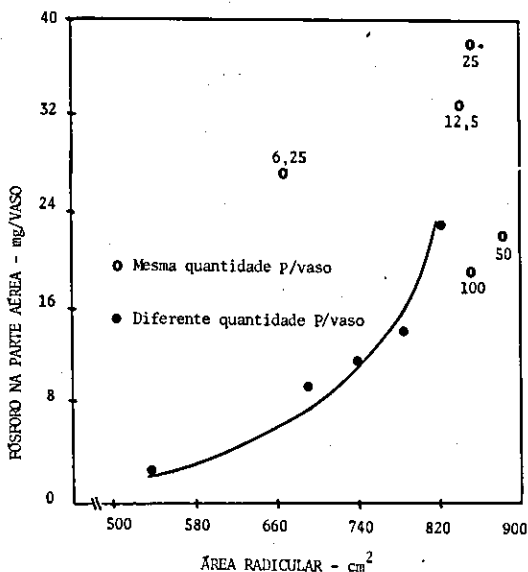


FIG. 3. Acúmulo de fósforo na parte aérea em função da quantidade de fósforo e da área radicular do tomateiro.

área radicular relacionou-se estreitamente com o acúmulo de fósforo na parte aérea (Fig. 3). Entretanto não foi possível verificar este relacionamento quando adicionou-se a mesma quantidade de fósforo por vaso porém em diferentes volumes de solo.

Ao se plotar, no eixo dos X, a fração entre o volume de solo fertilizado e o volume total de solo e, no eixo dos Y, a relação entre a área radicular na porção fertilizada do solo e a área radicular em toda a porção do solo (Exp. 2) obteve-se a equação $Y = 1,02X^{0,735}$. Essa equação mostra que houve uma compensação no desenvolvimento da área radicular, assim que o volume de solo onde o fertilizante foi colocado decresceu. Relações semelhantes, embora utilizando o comprimento da raiz ao invés de a área radicular, foram encontradas por Anghinoni & Barber (1980) trabalhando com milho e por Borkert & Barber (1985) trabalhando com soja.

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44(5):1041-4, 1980.
- BARBER, S.A. Soil-plant interactions in phosphorus nutrition of plants. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J., ed. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1980. cap. 21, p.591-615.
- BARROW, N.J. The effects of temperature on the reactions between inorganic phosphate and soil. *J. Soil Sci.*, 30:271-9, 1979.
- BORKERT, C.M. & BARBER, S.A. Soybean shoot and root growth and P concentration as affected by P placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:152-5, 1985.
- CLAASSEN, N. & BARBER, S.A. Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. *Agron. J.*, 68:961-4, 1976.
- DIBB, D.W. Phosphorus placement. In: POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE, Atlanta, EUA. *Phosphorus in agriculture; a situation analysis*. Atlanta, 1978. p.51-61.
- FONTES, P.C.R. & BARBER, S.A. Crescimento do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo pelo tomateiro afetados por concentrações de fósforo na solução nutritiva. *Pesq. agropec. bras.*, 19(10):1203-10, 1984.
- FONTES, P.C.R.; BARBER, S.A.; WILCOX, G.E. Prediction of phosphorus uptake by two tomato cultivars growing under insufficient and sufficient phosphorus soil conditions using a mechanistic mathematical model. *Plant Soil*, 94:87-97, 1986.
- FOX, R.L. & KANG, B.T. Influence of P fertilizer placement and fertilization rate on maize nutrition. *Soil Sci.*, 125:34-40, 1978.
- HIPP, B.W. Phosphorus requirement for tomato as influenced by placement. *Agron. J.*, 62:203-6, 1970.
- JUNGK, A. & BARBER, S.A. Plant age and the phosphorus uptake characteristics of trimmed and untrimmed corn root systems. *Plant Soil*, 42(1):227-39, 1975.
- MURPHY, J. & RILEY, J.D. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-6, 1962.
- SOBULO, R.A.; AGBOOLA, A.A.; FAYEMI, A.A. Effect of P placement of yield of tomatoes in Southwestern Nigeria. *Agron. J.*, 70:521-4, 1978.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, 63:995-1001, 1975.