

EFEITOS DA DENSIDADE APARENTE E DOS NÍVEIS DE FÓSFORO NA SOLUÇÃO DO SOLO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE RAÍZES E SOBRE A ABSORÇÃO DE FÓSFORO PELO TOMATEIRO^{1/}

Paulo Cezar Rezende Fontes ^{2/}
Francisco Morel Freire ^{2/}
Roberto Ferreira de Novais ^{3/}

1. INTRODUÇÃO

Do ponto de vista agrícola, o desenvolvimento da raiz é fator determinante da produtividade da cultura. É geralmente aceito que severa compactação do solo reduz o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes, especialmente do fósforo. Tem sido mostrado que a compactação do solo influencia adversamente o crescimento, como também reduz a absorção de fósforo pelo tomateiro (4, 13). Também foi mostrado por PRUMMEL (12) que, aumentando o nível de compactação do solo, aumentou a necessidade de fósforo no solo para máxima produção de cevada, linho e beterraba.

O objetivo do presente estudo foi investigar os efeitos da compactação e dos níveis de fósforo na solução do solo sobre o crescimento de raízes e sobre a absorção de fósforo por mudas de tomateiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em amostras de solo franco-siltoso retiradas dos 20 cm superficiais do terreno. O teor de fósforo disponível, determinado pelo método BRAY — 1, foi de 8 ppm, pH em água 6,5 e 28% de umidade a — 1/3 de bar. O solo foi peneirado, secado, armazenado e repeneirado, em peneiras de 1 cm, no

^{1/} Recebido para publicação em 24-4-1984.

^{2/} EPAMIG — Caixa Postal 216. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

momento da aplicação dos tratamentos. Quatro níveis de fósforo foram testados, misturando-se $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. H_2O com o solo, que recebeu, também, 100 ppm de N e 100 ppm de K, nas formas de NH_4NO_3 e KCl , respectivamente. Para determinar a quantidade de fósforo necessária para ter 3,25, 6,50, 9,75 e 19,50 $\mu\text{M P}$ na solução do solo, foi utilizado o método de isoterma de adsorção (7). Um tratamento teste-munha, sem adição de fósforo, foi também incluído no experimento. O solo assim tratado foi incubado a 70°C, durante 72 horas (1), e, posteriormente, colocado em vasos com capacidade de um quilo. Esses foram enchidos, com camadas de 3 cm, e compactados até a densidade aparente desejada. Entre as compactações, a superfície do solo foi escarificada, para se conseguir uma estrutura mais homogênea. Foram estabelecidas três densidades aparentes: 1,05, 1,25, e 1,45 g. cm^{-3} . O experimento foi delineado em parcelas subdivididas em blocos ao acaso, com três repetições. Nas parcelas localizaram-se os níveis de fósforo e nas subparcelas as densidades aparentes.

Sementes de tomate, cultivar 'Campbell-27', foram colocadas em orifícios de um cm de profundidade, diretamente no solo compactado. Cinco dias após a emergência, fez-se o desbaste, deixando-se uma planta por vaso. Durante o experimento, o teor de água do solo foi mantido em torno da capacidade de campo, mediante irrigações diárias. Vinte dias após a emergência, as plantas foram colhidas, separando-se raiz e parte aérea e determinando-se a área foliar, o peso da raiz fresca e o comprimento da raiz (16). Posteriormente, a raiz e a parte aérea foram secadas a 70°C, por 72 horas, determinando-se, a seguir, o peso do material seco. Cada material foi digerido em $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$, avaliando-se seu conteúdo de fósforo pelo método de Murphy e Riley (9). A área radicular (AR) foi calculada pela fórmula $\text{AR} = 2\pi rC$, sendo r o raio e C o comprimento da raiz, ambos expressos em cm. O raio da raiz foi calculado pela fórmula $r = (\text{PF}/\pi C)^{1/2}$, 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 (3).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o aumento do nível de fósforo na solução do solo, aumentou o peso das raízes secas de tomateiro, aumento verificado até 6,5 $\mu\text{M P}$ na solução do solo (Quadro 1). Por outro lado, o peso das raízes decresceu com o aumento da densidade aparente do solo de 1,05 para 1,25 g. cm^{-3} . Resultados semelhantes foram obtidos para a densidade das raízes (Quadro 1), que variou de 0,32 a 0,69 cm de raiz por cm^3 de solo nos níveis de 0,62 e 19,50 $\mu\text{M P}$, respectivamente. Esses valores são menores que os obtidos para o tomateiro em máximo desenvolvimento por TAYLOR e RATLIFF (15) e PORTAS e DORDIO (11), que citam valores de 3,3 e 20 cm de raiz por cm^3 de solo, respectivamente.

Semelhantemente a resultados obtidos por PETERSON e BARBER (10) e BOONE e VEEN (2), o raio da raiz aumentou com a compactação do solo; entretanto, o comprimento da raiz decresceu. O decréscimo no comprimento da raiz acarretou menor área radicular para as plantas crescidas em solo mais compactado (Quadro 1). A exemplo do obtido por FONTES e WILCOX (6), a área radicular foi um parâmetro diretamente correlacionado com a absorção de fósforo pelo tomateiro (Figura 1). A pressão criada pelo potencial osmótico dentro das células da raiz é considerada a força responsável por sua elongação (15). Parte dessa força é usada para superar a resistência da parede celular e parte para deslocar o meio externo. Quando a pressão externa é aplicada às raízes, a redução de crescimento pode ser atribuída ao efeito direto dessa pressão, que age em sentido contrário à pressão de turgor dentro da célula (15). Entretanto, RICKMAN *et alii* (14) concluíram que a falta de aeração parece que limita mais o crescimento que a resistência física do ambiente às plantas do tomateiro.

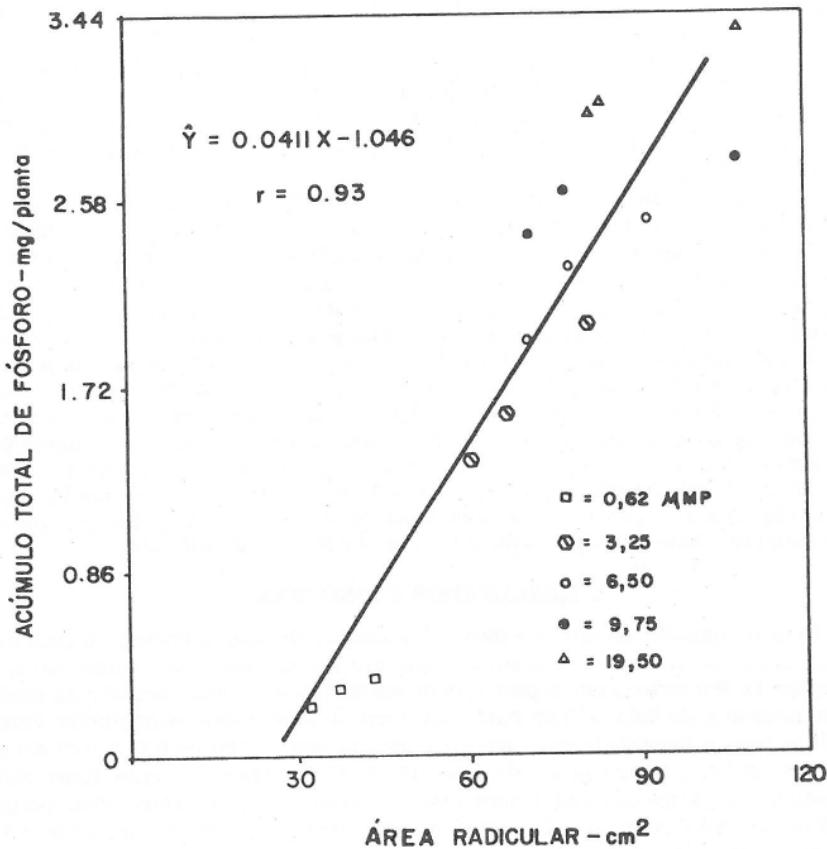


FIGURA 1 - Relação entre a área radicular e o acúmulo de fósforo em plantas de tomateiro.

QUADRO 1 - Peso de raízes secas, densidade de raízes e área radicular do tomateiro, influenciados pela densidade aparente e pelos níveis de fósforo na solução do solo *

Densidade aparente g/cm ³	Níveis de fósforo na solução do solo - μMP					média
	0,62	3,25	6,50	9,75	19,50	
Peso de raiz seca (mg/vaso)						
1,05	23,3	67,0	74,7	79,7	82,1	65,4 a
1,25	26,0	47,7	64,3	65,7	70,0	54,7 b
1,45	18,7	46,7	60,7	56,7	60,9	48,7 b
Média	22,7 c	53,8 b	66,6 ab	67,4 ab	71,0 a	
Densidade de raiz (cm de raiz/cm ³ solo)						
1,05	0,38	0,52	0,59	0,78	0,84	0,62 a
1,25	0,30	0,42	0,48	0,56	0,63	0,48 b
1,45	0,28	0,43	0,49	0,54	0,59	0,46 b
Média	0,32 bc	0,46 b	0,52 ab	0,63 ab	0,69 a	
Área radicular (cm ² /planta)						
1,05	44	83	94	109	110	88,0 a
1,25	37	67	79	78	85	69,2 b
1,45	32	61	72	72	83	64,0 b
Média	37,7 c	70,3 b	81,7 ab	86,3 ab	92,7 a	

*Em cada série de médias, para cada parâmetro, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, a 5%, pelo teste de Duncan.

Com o aumento do nível de fósforo na solução do solo, aumentou a absorção desse elemento pelas plantas, porém decresceu a eficiência de sua utilização (Quadro 2). A variação da densidade aparente do solo não alterou a eficiência na utilização de fósforo do tomateiro, mas a absorção desse nutriente diminuiu quando aquela propriedade do solo aumentou de 1,05 para 1,25 g. cm⁻³.

A área foliar do tomateiro também decresceu com o aumento da densidade aparente do solo e cresceu com o aumento do teor de fósforo na solução do solo (Quadro 3). Entretanto, a razão entre a área radicular e a área foliar decresceu com o aumento do nível de fósforo na solução do solo (Quadro 3). Isso indica que a área foliar respondeu mais ao suprimento de fósforo que a área radicular ou que a área radicular foi menos influenciada que a área foliar pelo suprimento de fósforo. Esses resultados concordam com os de LOCASCIO e WARREN (8) e FONTES *et alii* (5).

O crescimento da parte aérea foi claramente dependente da disponibilidade de fósforo para as plantas e da densidade aparente do solo (Quadro 3). Verificou-se que, na densidade de 1,05, mais de 85% do peso máximo da parte aérea se foram obtidos com 3,25 $\mu\text{M P}$, enquanto nas densidades de 1,25 e 1,45, com a mesma concentração de fósforo, somente foram obtidos 72 e 66% do peso máximo, respectivamente. PRUMMEL (12) obteve resultados semelhantes com cevada e beterraba, concluindo que a disponibilidade de fósforo é influenciada pelas condições físicas do solo; em solos compactados, as culturas requerem teor de fósforo mais alto.

QUADRO 2 - Fósforo absorvido e razão de eficiência no uso de fósforo pelo tomateiro, influenciados pela densidade aparente e pelos níveis de fósforo na solução do solo *

Densidade aparente g/cm^3	Níveis de fósforo na solução do solo - $\mu\text{M P}$					média
	0,62	3,25	6,50	9,75	19,50	
Fósforo absorvido (mg/planta)						
1,05	0,35	2,02	2,46	2,79	3,42	2,21 a
1,25	0,32	1,59	2,26	2,61	3,06	1,97 b
1,45	0,24	1,38	1,89	2,41	2,98	1,78 b
Média	0,30 d	1,66 c	2,20 bc	2,60 ab	3,15 a	
Razão de eficiência (mg de peso seco/mg P absorvido)						
1,05	688	338	313	273	239	379 a
1,25	703	343	327	289	250	382 a
1,45	668	348	323	280	239	371 a
Média	686 a	343 b	321 bc	281 cd	243 d	

* Em cada série de médias, para cada parâmetro, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, a 5%, pelo teste de Duncan.

4. RESUMO

Em experimento conduzido em vasos, foram avaliados os efeitos de cinco níveis de fósforo na solução do solo (0,62, 3,25, 6,50, 9,75 e 19,50 $\mu\text{M P}$) e três densidades aparentes (1,05, 1,25 e 1,45 g/cm^3) sobre o desenvolvimento de raízes e sobre a absorção de fósforo por plantas de tomateiro, cultivar 'Campbell-27'.

Com o aumento do nível de fósforo, aumentaram o peso das raízes e da parte aérea secas, a área foliar, a densidade das raízes, a área radicular e a quantidade de fósforo absorvido, sendo os incrementos mais acentuados até 6,50 $\mu\text{M P}$. Por outro lado, a eficiência no uso de fósforo e a razão entre a área radicular e a área foliar decresceram com o aumento da concentração de fósforo na solução. Correlação altamente significativa foi obtida entre a área radicular e a absorção de fósforo. À exceção do diâmetro da raiz, que foi maior, e da eficiência no uso de fósforo, que permaneceu inalterada, os demais parâmetros decresceram com o aumento da densidade aparente do solo.

5. SUMMARY

(EFFECTS OF SOIL BULK DENSITY AND LEVELS OF PHOSPHORUS IN SOIL SOLUTION ON ROOT DEVELOPMENT AND PHOSPHORUS ABSORPTION OF TOMATO)

An experiment was carried out in pots, in the greenhouse, to evaluate the effects of phosphorus levels in soil solution (0.62, 3.25, 6.50, 9.75 and 19.50 $\mu\text{M P}$)

QUADRO 3 - Área foliar, razão entre a área radicular e a área foliar e peso da parte aérea seca do tomateiro, influenciados pela densidade aparente e pelos níveis de fósforo na solução do solo *

Densidade aparente g/cm^3	Níveis de fósforo na solução do solo - $\mu\text{M P}$					média
	0,62	3,25	6,50	9,75	19,50	
Área foliar ($\text{cm}^2/\text{planta}$)						
1,05	72	158	190	222	242	176,8 a
1,25	66	141	183	190	213	158,6 ab
1,45	53	127	172	179	204	147,0 b
Média	63,7 d	142,0 c	181,7 b	197,0 ab	219,7 a	
Razão entre a área radicular e a área foliar						
1,05	0,62	0,52	0,50	0,49	0,47	0,52 a
1,25	0,55	0,48	0,41	0,41	0,41	0,45 b
1,45	0,59	0,48	0,42	0,40	0,40	0,46 b
Média	0,59 a	0,49 b	0,45 bc	0,43 c	0,42 c	
Peso da parte aérea seca (mg/planta)						
1,05	216	609	666	695	710	579,2 a
1,25	198	499	663	689	693	548,4 ab
1,45	137	427	545	633	649	478,2 a
Média	183,7 c	511,7 b	624,7 ab	672,3 a	684,0 a	

* Em cada série de médias, para cada parâmetro, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, a 5%, pelo teste de Duncan.

and soil bulk density (1.05, 1.25 and 1.45 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) on root growth and phosphorus uptake by tomato seedlings, cultivar 'Campbell-27'.

Increasing phosphorus levels increased shoot and root dry weight, leaf area, root density, root surface area, and the amount of phosphorus uptake. The increase in rate of response was more accentuated up to 6.50 $\mu\text{M P}$. On the other hand, the efficiency in phosphorus utilization and the ratio between root surface and leaf areas decreased with the increase in soil solution phosphorus. A high correlation was obtained between root surface area and the amount of phosphorus uptake. Except for root radius, which was greater, and the efficiency in phosphorus utilization which did not change, all others parameters decreased with the increase in soil bulk density.

6. LITERATURA CITADA

1. BARROW, N.J. The effects of temperature on the reactions between inorganic phosphate and soil. *J. Soil Sci.*, 30:271-279. 1979.
2. BOONE, F.R. & VEEN, B.W. The influence of mechanical resistance and phosphate supply on morphology and function of maize roots. *Neth. J. Agric. Sci.*, 30:179-192. 1982.

3. CLASSEN, N. & BARBER, S.A. Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. *Agron. J.*, 68:961-964. 1976.
4. FLOCKER, W.J.; LINGLE, J.C. & VOMOCIL, J.A. Influence of soil compaction on phosphorus absorption by tomato plants from an applied phosphate fertilizer. *Soil Sci.*, 38:247-250. 1959.
5. 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. Em preparo.
6. FONTES, P.C.R. & WILCOX, G.E. Growth and phosphorus uptake by tomato cultivars as influenced by phosphorus concentrations in soil and nutrient solution. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(5):633-636, 1984.
7. FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating phosphate requirements for soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:902-907. 1970.
8. LOCASCIO, S.J. & WARREN, G.F. Growth pattern of the roots of tomato seedlings. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 74:494-499. 1959.
9. MURPHY, J. & RILEY, J.D. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.*, 27:31-36. 1962.
10. PETERSON, W.R. & BARBER, S.A. Soybean root morphology and K — uptake. *Agron. J.*, 73:316-319. 1981.
11. PORTAS, C.A.M. & DORDIO, J.J.F.B. Tomato root systems. A short review with reference on tomatoes for processing. *Acta Horticulturae*, 100:113-124. 1980.
12. PRUMMEL, J. Effect of soil structure on phosphate nutrition of crop plants. *Neth. J. Agric.* 23:62-68. 1975.
13. RAO, M.S.R.; NAGARAJARAO, Y. & KATHAVATE, Y.V. Effect of compaction on the physical properties of soils and yield of wheat, and on the uptake on nutrients by tomato. *Indian J. Agric. Sci.*, 43:773-777. 1973.
14. RICKAMN, R.W.; LETEY, J. & STOLZY, L.H. Plant response to oxygen supply and physical resistance in the root environment. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 30:304-307. 1966.
15. TAYLOR, H.M. & RATLIFF, L.F. Root growth pressures of cotton, peas and peanuts. *Agron. J.*, 61:398-402. 1969.
16. TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, 63:995-1001. 1975.