

*Cassio Roberto Piffer*<sup>2</sup>  
*Sergio Hugo Benez*<sup>3</sup>  
*Erick Vinicius Bertolini*<sup>4</sup>  
*Fabio Rensi Cominetti*<sup>5</sup>  
*Paulo Roberto Arbex Silva*<sup>6</sup>

---

**CRESCIMENTO RADICULAR DE TRÊS  
ESPÉCIES DE COBERTURA VEGETAL  
EM CAMADAS DE SOLO COMPACTADAS  
ARTIFICIALMENTE<sup>1</sup>**

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo estudar o desenvolvimento dos sistemas radiculares de amaranto, milho e capim pé-de-galinha em função de quatro níveis de compactação, caracterizados pelas densidades de 1,21; 1,31; 1,41 e 1,51 Mg m<sup>-3</sup> em Nitossolo Vermelho Distroférico. O experimento foi conduzido em campo na Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, campus de Botucatu-SP, no delineamento experimental de blocos ao acaso. Os vasos foram montados com quatro anéis de PVC sobrepostos, totalizando 40 cm de altura, sendo que somente o anel correspondente à profundidade de 10 a 20 cm foi compactado. Os vasos, assim montados, foram enterrados a 40 cm de profundidade, encerrando-se o experimento na fase da inflorescência de cada cultura. A seguir, determinou-se o comprimento radicular, volume radicular, diâmetro radicular, massa seca radicular, bem como a massa seca e altura das partes aéreas das plantas. Os resultados mostraram que o capim pé de galinha apresentou o sistema radicular com maior comprimento, volume e massa seca, penetrando na camada compactada do solo até a densidade de 1,41 Mg m<sup>-3</sup>; o milho proporcionou maior quantidade de massa seca na parte aérea, mostrando ter melhor característica para cobertura do solo; o amaranto foi mais sensível à compactação do solo em todas as densidades e variáveis estudadas.

---

Data de recebimento: 14/08/08. Data de aceite para publicação: 30/01/09.

1 Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura da Faculdade de Ciências Agrônomicas – FCA (UNESP).  
2 Eng. Agrônomo, FCA, UNESP, Botucatu, SP, Caixa Postal 237, CEP: 18.610-307, e-mail: cassiopiffer@hotmail.com

3 Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu, SP.

4 Engenheiro Agrônomo, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu, SP.

5 Engenheiro Agrônomo, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu, SP

6 Engenheiro Agrônomo, Prof. Dr. Substituto, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu, SP.

Palavras-chave: compactação do solo; sistema radicular; cobertura vegetal.

**SUMMARY:** This paper aimed to study the development of root system of amaranth, millet and “pé de galinha” according to four density levels of soil compaction, characterized by 1.21; 1.31; 1.41 and 1.51 Mg m<sup>-3</sup> densities in Distroferic Red Nitrosoil. The experiment was carried out at Agricultural Science University of UNESP, Botucatu campus - SP, in a randomized block experimental design. Pots were assembled with four rings of overlaid PVC tubes, totalizing 40 cm high. The ring at 10 to 20 cm depth was the only one compacted. Tubes were assembled and buried at 40 cm depth. The experiment was finished at inflorescence phase of each culture. Measurement of root length, root volume, root diameter, and root dry matter were taken as well as dry matter and length of aerial part of plants. Results showed that “pé de galinha” had root system with the longer length, volume and dry matter working in compacted soil layer up to 1.41 Mg m<sup>-3</sup>; millet showed the highest amount of dry matter at aerial part showing good characteristic for soil covering; amaranth was sensitive to soil compaction in all the studied densities and variables.

Key-words: soil compaction; root system; vegetal covering.

## **INTRODUÇÃO**

A compactação do solo pode limitar a adsorção e/ou absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da produção, aumento da erosão e da potência necessária para o preparo do solo (SOANE, 1990; DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996).

As raízes são imprescindíveis ao processo de absorção de água e nutrientes; os estudos sobre seu crescimento, concentração, distribuição e atividade (taxa de crescimento e longevidade) no perfil do solo são fundamentais para o entendimento dos sistemas de produção das culturas (TAYLOR & ARKIN, 1981).

O cultivo de espécies vegetais de cobertura protege o solo da insolação direta, reduzindo a temperatura e diminuindo a incidência de plantas daninhas pelo efeito alelopático e/ou pelo potencial supressor; impede o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, aumentando a infiltração de água. Desta forma, evita o selamento superficial, reduzindo assim as perdas de água e solo pelo processo erosivo (DERPSCH et al., 1991).

Certas plantas de cobertura têm enraizamento amplo e profundo no solo bem maior do que aquele alcançado por culturas agrícolas; as mesmas conseguem romper camadas compactadas, promovendo maior fluxo vertical de matéria orgânica e aumentando, desta forma, sua

estruturação, tornando o solo poroso (OSTERROHT, 2002). Algumas pesquisas demonstraram a existência de plantas com sistema radicular agressivo atuando como descompactadoras do solo – é o caso da colza de inverno e do tremoço branco, citados por Cintra & Mielniczuk (1983), do mata pasto citado por Alvarenga et al. (1996), da crotalária juncea observada por Foloni (1999), do nabo forrageiro descrito por Müller et al. (1999) e do capim pé de galinha citado por Maronezzi & Lucas (2000).

Assim, os objetivos deste trabalho consistiram na identificação, quantificação e comparação do desenvolvimento dos sistemas radiculares de amaranto, milho e capim pé-de-galinha em quatro níveis de compactação do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Campus de Botucatu - SP, ocupando uma área de 18 m<sup>2</sup>. A localização geográfica é definida pelas coordenadas 22°49'41" de Latitude Sul e 48°25'37" de Longitude Oeste e altitude média de 770 metros.

Os 12 tratamentos deste trabalho seguiram um esquema fatorial 3 x 4 (três culturas e quatro densidades do solo), com delineamento em blocos casualizados e quatro repetições. No caso em que as interações entre as culturas e as densidades do solo foram significativas, desdobrou-se essa interação aplicando-se o teste de Tukey a 5% para identificar as diferenças significativas.

Foram utilizadas espécies de amaranto (*Amaranthus cruentus*, variedade BRS Alegria), da Família Amaranthacea com sistema radicular pivotante; milho (*Pennisetum glaucum* (L.), variedade BN-2) e capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana* (L.), da Família Gramínea com sistemas radiculares fasciculados. Todas as espécies semeadas em novembro, com uma planta por vaso para o amaranto e quatorze plantas por vaso para o capim pé-de-galinha e o milho (CALEGARI, 2002).

O solo utilizado foi classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) como Nitossolo Vermelho Distroférico, textura muito argilosa. Este foi coletado na profundidade de 0-20 cm, seco ao ar livre durante três dias e passado em peneira de malha de quatro milímetros. Em seguida, foi acondicionado em sacos plásticos pesando 10,5 kg de solo cada, para posteriormente ser corrigido o teor de água. Neste solo, não foi colocado calcário e tampouco foi adubado, devido à sua composição química (Tabela 1).

Tabela 1 Análises químicas do solo antes da instalação do experimento

pH	MO	P resina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%
5,2	26	38	42	3,7	43	20	67	109	61

Classificação dos teores do solo: pH – médio; MO – baixo; P – médio; K – alto; Ca – alto; Mg – alto; V% - médio.

Para definição dos níveis de compactação do solo utilizou-se o ensaio de laboratório Proctor Normal. Plotando valores do teor de água versus densidade do solo, obteve-se a curva de compactação da qual foram obtidos o teor de água crítico de compactação e a densidade do solo máxima correspondente, sendo esses valores 30 % e 1,51 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Após a homogeneização do solo, com o teor de água ótimo para compactação, este foi acondicionado em sacos plásticos vedados, para não desidratar antes de ser prensado.

Utilizou-se uma prensa hidráulica da marca EMIG, modelo PHS 15-L, constituída de um macaco hidráulico, acionado manualmente através de alavanca com capacidade de 3.000 kN m<sup>-2</sup>. A força aplicada é determinada por um relógio registrador de força com capacidade para 50 kN. Para suportar os anéis de PVC rígido preenchidos com terra e, assim, evitar deformações indesejadas, foi utilizado um suporte de aço cilíndrico com 30 cm de altura e 20,5 cm de diâmetro interno.

O solo foi prensado para atingir densidades com valores de 1,21; 1,31; 1,41 e 1,51 Mg m<sup>-3</sup>. Após a compactação, determinou-se a resistência à penetração mecânica do solo com o auxílio do penetrômetro de bolso da marca DIK, modelo 679 (base do cone de 18 mm, altura do cone 40 mm e ângulo do vértice do cone 23°), em que se efetuou seis leituras para cada anel. Posteriormente, os anéis de PVC foram mantidos em sacos plásticos vedados até serem transferidos para o campo, onde foram montados.

Os vasos foram montados com quatro anéis de PVC sobrepostos, correspondendo à camada superior (CS), camada compactada (CC) e camadas inferiores (A e B), totalizando 40 cm de altura e diâmetro interno de 19,5 cm (Figura 1). Estes comportaram um volume de 12,6 L de solo, sendo que, somente um anel foi compactado, correspondendo à profundidade de 10 a 20 cm. Os vasos, assim montados, foram mantidos em condições de campo, enterrados a 40 cm de profundidade. O experimento encerrou-se *na fase da inflorescência de cada cultura*.

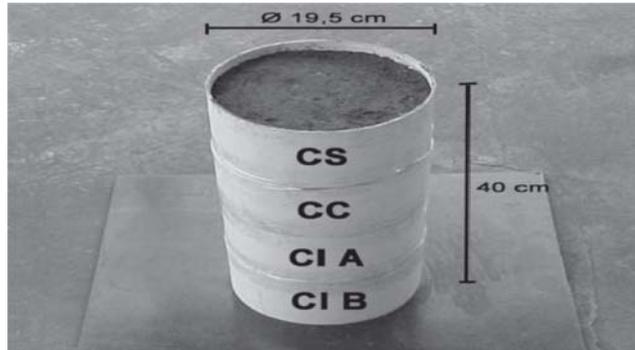


Figura 1 Vaso montado com quatro anéis de PVC.

As plantas foram cortadas rente à superfície do solo e as partes aéreas foram medidas utilizando-se uma trena para determinar suas alturas (m); os tecidos vegetais foram desidratados em estufa a 70°C por 72 h para obtenção das massas secas (g).

O sistema radicular foi lavado em água corrente sobre peneira de malha de um milímetro, permanecendo dividido em quatro partes de acordo com as camadas de cada vaso e posteriormente colocado em sacos plásticos previamente numerados. Em seguida, foram pesados em balança eletrônica e, por apresentarem grande volume, foram retiradas alíquotas representativas de 5%.

Essas alíquotas foram armazenadas em recipientes plásticos, submersas em solução aquosa contendo 30% de álcool etílico, sendo conservadas em refrigerador para posteriormente serem submetidas à leitura pelo Scanner, modelo Scanjet 4C/T, marca HP. Através do programa Win Mac Rhizo, versão 3.8-b, determinou-se o comprimento (cm cm<sup>-3</sup>), o diâmetro (mm) e o volume (cm<sup>3</sup>) radicular; as raízes restantes foram desidratadas em estufa a 70°C por 72 h para determinação das massas secas (g).

Por meio das massas secas das alíquotas e do total das massas secas radiculares, determinou-se o comprimento, o diâmetro e o volume de todo o sistema radicular para cada camada do vaso.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na densidade 1,21 Mg m<sup>-3</sup> (Tabela 2), observa-se que as alturas das partes aéreas do milho e do amaranto foram estatisticamente superiores ao do capim pé-de-galinha. Já nas densidades 1,31; 1,41 e 1,51 Mg m<sup>-3</sup>, a altura da parte aérea do amaranto foi estatisticamente superior as do capim pé-de-galinha e milho, em virtude de ser uma planta de maior desenvolvimento. Nota-se, ainda, que a altura da parte aérea de todas as espécies diminui com o aumento da compactação do

solo. Esta observação está de acordo com os resultados obtidos por Ortolani et al. (1982) e Queiroz-Voltan et al. (2000), para a soja e por Vespraskas & Wagger (1990) para o milho.

Tabela 2 Desdobramento da interação densidades versus espécies referentes a altura (m) e a massa seca (g) da parte aérea das plantas

Densidades (Mg m <sup>-3</sup> )	Espécies	Altura (m)	Massa seca (g)
1,21	capim pé-de-galinha	0,35 B	60,93 B
	milheto	0,89 A	96,34 A
	amaranto	0,77 A	60,43 B
1,31	capim pé-de-galinha	0,31 B	25,06 A
	milheto	0,40 B	38,38 A
	amaranto	0,72 A	20,74 A
1,41	capim pé-de-galinha	0,29 B	12,82 A
	milheto	0,31 B	21,96 A
	amaranto	0,69 A	16,39 A
1,51	capim pé-de-galinha	0,28 B	11,38 A
	milheto	0,24 B	20,32 A
	amaranto	0,64 A	13,30 A

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna para cada densidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Verifica-se ainda, na Tabela 2, que o milheto apresentou maior acúmulo de massa seca na parte aérea na densidade de 1,21 Mg m<sup>-3</sup>, diferindo-se estatisticamente do capim pé-de-galinha e do amaranto. Nas demais densidades os resultados não se diferem estatisticamente. As quantidades de massas secas na parte aérea do capim pé-de-galinha, do milheto e do amaranto, também diminuem com o aumento da compactação do solo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Foloni (1999) para a soja e cinco adubos verdes: guandu, guandu anão, mucuna preta, lab-lab e crotalária juncea; ainda por Müller et al. (1999) para cinco adubos verdes: aveia preta, aveia branca, nabo forrageiro, ervilhaca e tremoço branco e também por Pace et al. (1999) para cinco adubos verdes: milheto, sorgo de guiné, girassol, crotalária juncea e crotalária spectabilis.

Nota-se que o capim pé-de-galinha, nas densidades 1,21; 1,31 e 1,41 Mg m<sup>-3</sup>, penetrou suas raízes na camada compactada atingindo as camadas inferiores (A e B), demonstrando grande potencial como descompactador do solo (Tabela 3).

As raízes do capim pé-de-galinha, na densidade de 1,51 Mg m<sup>-3</sup>, ficaram concentradas nas camadas superior e compactada (Tabela 3) não conseguindo atravessá-las para alcançar as camadas inferiores; desta forma, fica evidente que o aumento da densidade do solo causa diminuição no comprimento das raízes. Esta observação coincide com

os resultados apresentados por Borges et al. (1988); também por Vespraskas & Wagger (1990) e Rosolem et al. (1999) para o milho.

Tabela 3 Desdobramento da interação densidades versus espécies referente ao comprimento radicular ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nas quatro camadas dos vasos

Densidades ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	Espécies	Comprimento radicular ( $\text{cm cm}^{-3}$ )			
		CS	CC	CI A	CI B
1,21	capim pé-de-galinha	6,82 A	5,98 A	4,22 A	0,61 A
	milheto	9,97 A	9,70 A	1,22 A	0,86 A
	amaranto	1,00 B	0,60 B	0,33 A	0,23 A
1,31	capim pé-de-galinha	7,35 A	6,20 A	4,64 A	0,41 A
	milheto	9,34 A	9,19 A	1,05 A	0,34 A
	amaranto	1,12 B	0,46 B	0,47 A	0,30 A
1,41	capim pé-de-galinha	14,21 A	7,96 A	2,12 A	0,30 A
	milheto	11,76 A	5,29 A	0,85 A	0,74 A
	amaranto	1,90 B	0,69 B	0,43 A	0,25 A
1,51	capim pé-de-galinha	16,17 A	5,57 A	1,39 A	0,24 A
	milheto	12,53 A	2,63 A	0,67 A	0,30 A
	amaranto	1,26 B	0,99 B	0,40 A	0,20 A

CS – camada superior; CC – camada compactada; CI A e CI B - camadas inferiores. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna para cada densidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No caso do milheto, nas densidades 1,21 e 1,31  $\text{Mg m}^{-3}$ , suas raízes conseguiram penetrar na camada compactada e atingir as camadas inferiores (A e B), mostrando grande potencial como descompactador do solo nestas densidades (Tabela 3). Nas densidades 1,41 e 1,51  $\text{Mg m}^{-3}$ , suas raízes ficaram praticamente retidas nas camadas superior e compactada, atingindo pouco as camadas inferiores (A e B). Assim, fica determinado que o milheto, nestas densidades, não age como descompactador do solo.

Nas camadas superior e compactada, para todas as densidades, observa-se que os comprimentos radiculares do capim pé-de-galinha e do milheto, foram estatisticamente superiores ao do amaranto (Tabela 3). Já, na camada inferior (A e B) os resultados não se diferem estatisticamente. Verifica-se então, que o amaranto foi sensível à compactação do solo em todas as densidades estudadas, como pode ser notado na Tabela 3.

De acordo com Whiteley & Dexter (1982), as culturas com raízes pivotantes são mais afetadas pela compactação do solo que aquelas com raízes fasciculadas mais finas.

Na Tabela 4, observa-se que, para a densidade 1,21  $\text{Mg m}^{-3}$ , o diâmetro radicular das espécies não diferiu estatisticamente em todas as camadas, mas nota-se que o amaranto obteve maior diâmetro

radicular.

Na densidade 1,31 Mg m<sup>-3</sup>, constata-se que na camada superior, o diâmetro radicular do capim pé-de-galinha e do milho foram estatisticamente superiores ao do amaranto. Nas camadas inferiores (A e B), as espécies não se diferiram estatisticamente, mas nota-se que o amaranto apresentou maior diâmetro radicular (Tabela 4).

Tabela 4 Desdobramento da interação densidades versus espécies referente ao diâmetro radicular (mm) nas quatro camadas dos vasos

Densidades (Mg m <sup>-3</sup> )	Espécies	Diâmetro radicular (mm)			
		CS	CC	CI A	CI B
1,21	capim pé-de-galinha	0,16 A	0,10 A	0,07 A	0,02 A
	milho	0,14 A	0,12 A	0,07 A	0,06 A
	amaranto	0,18 A	0,17 A	0,08 A	0,10 A
1,31	capim pé-de-galinha	0,19 A	0,16 A	0,08 A	0,06 A
	milho	0,17 A	0,11 A	0,09 A	0,08 A
	amaranto	0,13 B	0,08 A	0,10 A	0,10 A
1,41	capim pé-de-galinha	0,16 B	0,13 A	0,12 A	0,02 A
	milho	0,21 A	0,12 A	0,09 A	0,08 A
	amaranto	0,15 B	0,11 A	0,13 A	0,13 A
1,51	capim pé-de-galinha	0,15 A	0,13 A	0,10 A	0,06 A
	milho	0,14 A	0,11 A	0,07 A	0,05 A
	amaranto	0,13 A	0,10 A	0,05 A	0,05 A

CS – camada superior; CC – camada compactada; CI A e CI B - camadas inferiores. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna para cada densidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a densidade 1,41 Mg m<sup>-3</sup>, da camada superior, o diâmetro radicular do milho foi estatisticamente superior ao do capim pé-de-galinha e do amaranto. Nas demais camadas não houve diferença estatística entre as espécies (Tabela 4).

Sendo assim, pode-se confirmar que o aumento da densidade do solo ocasionou diferenças no diâmetro radicular entre as espécies em todas as camadas dos vasos. A camada compactada obstruiu o crescimento do sistema radicular das plantas, contribuindo no aumento do diâmetro do mesmo.

Nas camadas superior e compactada, o volume radicular do capim pé-de-galinha e do milho foram estatisticamente superiores ao do amaranto, em todas as densidades, sendo que o capim pé-de-galinha obteve maior valor entre as plantas. Nas camadas inferiores (A e B), o volume radicular das espécies não diferiu estatisticamente, mas nota-se que o capim pé-de-galinha obteve maior valor numérico entre as mesmas (Tabela 5).

Tabela 5 Desdobramento da interação densidades versus espécies referente ao volume radicular ( $\text{cm}^3$ ) nas quatro camadas dos vasos

Densidades ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	Espécies	Volume radicular ( $\text{cm}^3$ )			
		CS	CC	CI A	CI B
1,21	capim pé-de-galinha	3,33 A	2,63 A	0,58 A	0,14 A
	milheto	3,18 A	2,40 A	0,49 A	0,12 A
	amaranto	0,42 B	0,10 B	0,10 A	0,09 A
1,31	capim pé-de-galinha	3,06 A	2,51 A	0,23 A	0,13 A
	milheto	2,68 A	1,99 A	0,20 A	0,10 A
	amaranto	0,28 B	0,07 B	0,10 A	0,06 A
1,41	capim pé-de-galinha	4,64 A	1,80 A	0,19 A	0,11 A
	milheto	2,98 A	0,92 A	0,16 A	0,09 A
	amaranto	0,38 B	0,09 B	0,08 A	0,06 A
1,51	capim pé-de-galinha	6,81 A	1,41 A	0,13 A	0,08 A
	milheto	2,91 A	0,52 A	0,12 A	0,07 A
	amaranto	0,46 B	0,05 B	0,06 A	0,07 A

CS – camada superior; CC – camada compactada; CI A e CI B - camadas inferiores. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna para cada densidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Desta forma, estes resultados permitem confirmar que o capim pé-de-galinha foi a espécie que apresentou volume radicular superior ao das demais espécies, mostrando, talvez, grande potencial em aumentar a formação de bioporos em profundidade até a densidade  $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ . O milheto também, provavelmente, conseguiu aumentar a formação de bioporos em profundidade até a densidade  $1,31 \text{ Mg m}^{-3}$ , pois nas demais densidades suas raízes ficaram concentradas nas camadas superior e compactada. Já o amaranto foi sensível ao aumento da densidade do solo em todas as densidades estudadas.

Os volumes radiculares do capim pé-de-galinha e do milheto diminuíram em função do aumento da densidade do solo. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Hallmark & Barber (1981) para a soja; por Foloni (1999) para a mucuna preta e Pace et al. (1999) para o milheto e o sorgo de guiné.

Nas densidades  $1,21$  e  $1,31 \text{ Mg m}^{-3}$  (Tabela 6), observa-se que o milheto obteve grande acúmulo de massa seca radicular nas camadas compactada e inferiores (A e B), agindo, provavelmente, como descompactador do solo, incorporando a matéria orgânica em profundidade. Nas densidades  $1,41$  e  $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$ , a variável ficou concentrada nas camadas superior e compactada. Desta forma, supõe-se que, nestas densidades, o milheto foi sensível ao aumento da densidade do solo.

Nota-se também, na Tabela 6, que o capim pé-de-galinha, nas

densidades 1,21; 1,31 e 1,41 Mg m<sup>-3</sup>, obteve maior acúmulo de massa seca radicular nas camadas compactada e inferiores (A e B) em relação às demais espécies, atuando talvez como descompactador do solo, incorporando a matéria orgânica em profundidade. Na densidade 1,51 Mg m<sup>-3</sup>, a massa de raízes ficou concentrada nas camadas superior e compactada, sugerindo, assim, que o capim pé de galinha não conseguiu romper camadas com densidade de 1,51 Mg m<sup>-3</sup> ou superiores.

Constata-se ainda, na Tabela 6, nas camadas superior e compactada, para todas as densidades que a massa seca radicular tanto do capim pé-de-galinha como do milho, foram estatisticamente superiores ao do amaranto. Já, nas camadas inferiores (A e B), os resultados também foram superiores, mas não se diferem estatisticamente. Destaca-se, assim, que o amaranto foi sensível à compactação do solo em todas as densidades estudadas.

Estes resultados permitem deduzir que o aumento da densidade do solo causa redução na massa seca radicular de todas as espécies estudadas e estão de acordo com os citados por Benez et al. (1986), Borges et al. (1988), Moraes et al. (1991) e Rosolem et al. (1994) para a soja; também com os observados por Foloni (1999) para a soja e cinco adubos verdes e por Pace et al. (1999) para o milho e o sorgo de guiné.

Tabela 6 Desdobramento da interação densidades versus espécies referente à massa seca radicular (g) nas quatro camadas dos vasos

Densidades (Mg m <sup>-3</sup> )	Espécies	Massa seca radicular (g)			
		CS	CC	CI A	CI B
1,21	capim pé-de-galinha	4,12 A	3,47 A	0,38 A	0,18 A
	milho	5,00 A	3,10 A	0,23 A	0,20 A
	amaranto	0,61 B	0,10 B	0,16 A	0,15 A
1,31	capim pé-de-galinha	3,05 A	2,15 A	0,31 A	0,16 A
	milho	4,54 A	1,98 A	0,21 A	0,14 A
	amaranto	0,56 B	0,09 B	0,12 A	0,10 A
1,41	capim pé-de-galinha	4,04 A	2,37 A	0,16 A	0,07 A
	milho	3,20 A	1,01 A	0,08 A	0,06 A
	amaranto	0,73 B	0,06 B	0,09 A	0,06 A
1,51	capim pé-de-galinha	5,62 A	1,67 A	0,09 A	0,03 A
	milho	6,37 A	1,56 A	0,10 A	0,04 A
	amaranto	0,79 B	0,04 B	0,08 A	0,02 A

CS – camada superior; CC – camada compactada; CI A e CI B - camadas inferiores. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna para cada densidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

## CONCLUSÕES

1. O capim pé de galinha apresentou, em relação ao amaranto e ao milho, o sistema radicular com maior comprimento, volume e massa seca, penetrando em camadas compactadas de solo até a densidade  $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ ;

2. O milho proporcionou maior quantidade de massa seca na parte aérea, mesmo na presença de camadas compactadas, quando comparado ao amaranto e ao capim pé-de-galinha;

3. O amaranto foi mais sensível à compactação do solo em todas as densidades, para as variáveis estudadas, quando comparado ao milho e ao capim pé de galinha.

## AGRADECIMENTO

*À CAPES pelo apoio financeiro, sendo de grande valia para a conclusão deste trabalho.*

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 219-226, 1996.

BENEZ, S. H.; GAMERO, C. A.; FURLANI JÚNIOR, J. A. Efeitos da compactação do solo no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1986. p. 45.

BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F. de; REGAZZI, A. J.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F. de. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 35, n. 202, p. 553-568, 1988.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura. **Agroecologia**, Botucatu, ano 2, n. 14, p. 14-19, 2002.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n.

1, p. 197-201, 1983.

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

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 175-182, 1996.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FOLONI, J. S. S. **Crescimento radicular da soja (Glycine max (L.) Merrill) e de cinco adubos verdes em função da compactação do solo**. 1999. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

HALLMARK, W. B.; BARBER, S. A. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybean as affect by soil K and bulk density. **Agronomy Journal**, Madison, v.73, p.779-782, 1981.

MARONEZZI, A. C.; LUCAS, G. L. de. Considerações gerais sobre o cultivo do Pé de Galinha – Eleusine coracana L. como fonte de biomassa, descompactação do solo e integração agricultura – pecuária no sistema de plantio direto. In: AGR NORTE PESQUISA E CONSULTORIA. **Cultivo do pé de galinha** - Eleusine coracana L. Mato Grosso, 2000. Não paginado. (Boletim Técnico, 2).

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Influência de camadas compactadas de subsuperfície no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (Glycine max. (L) Merrill). **Científica**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 195-206, 1991.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; CAMPOS, M. F.; MARCELO, C. S.; ROSOLEM, C. A. Crescimento de raízes e acúmulo de nutrientes em espécies de inverno em função da presença de camada de solo compactado em subsuperfície. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Programas e Resumos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

ORTOLANI, A. F.; COAN, O.; SALLES, H. C. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja (*Glycine max* (L.) Merril). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.6, n.1, p.35-42, 1982.

OSTERROHT, M. V. O que é uma adubação verde: princípios e ações. **Agroecologia**, Botucatu, ano 2, n. 14, p. 9-11, 2002.

PACE, L.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; ROSOLEM, C. A. Desenvolvimento radicular e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão submetidos à compactação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Programas e Resumos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. dos S. S.; MIRANDA, M. A. C. de. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.929-938, 2000.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. da S.; SACRAMENTO, L. V. S. do. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.53, n.2, p.259-266, 1994.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDES, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.179-201, 1990.

TAYLOR, H. M.; ARKIN, G. F. Root zone modification: fundamentals and alternatives. In: TAYLOR, H. M.; ARKIN, G. F. **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 1-17, 1981.

VESPRASKAS, M. J.; WAGGER, M. G. Corn root distribution and yield response to subsoiling for Paleudults having different aggregate sizes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 849-854, 1990.

WHITELEY, G. M.; DEXTER, A. R. Root development and growth of oil seed, wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 2, p. 379-393, 1982.