

Distribuição vertical de características morfológicas do sistema radicular de *Brachiaria humidicola*

F. da Costa*, R. O. Pereyra**, S. Paciornik*** e J. B. Rodrigues de Abreu[†]

Introdução

Existe pouca informação sobre vários aspectos do sistema radicular de pastagens tropicais. De acordo a Scurlock e Hall (1998) menos de 10% dos estudos sobre pastagens tem feito medições diretas da produção da biomassa subterrânea, não obstante o significativo papel desses sistemas no ciclo global do carbono. Todavia, a coleta de dados de biomassa radicular, enquanto enfoque necessário em relação ao papel das raízes na ciclagem do carbono, não avalia as influências diretas ou indiretas que as mesmas exercem sobre as atividades químicas e biológicas do solo, nem a própria capacidade dos sistemas radiculares na aquisição de recursos abióticos (Costa et al., 2000). O estudo tais aspectos demandam a quantificação de variáveis como o comprimento total e o diâmetro das raízes, assim como o da sua área superficial (Rossiello et al., 1995; Dowdy et al., 1998).

Esse tipo de informação pode constituir um importante subsídio na avaliação das potencialidades de uma forrageira em termos de eficiência de uso e ciclagem de nutrientes, contribuindo também para uma melhor compreensão do efeito das práticas de manejo na sustentabilidade do ecossistema solo-planta-animal (Rodrigues e Cadima-Zevallos, 1991; Corsi et al., 2001).

A escassez de dados sobre raízes é explicável, em parte, pelas dificuldades impostas pela própria

natureza do objeto de estudo. Embora estejam disponíveis umas séries de técnicas indiretas e não destrutivas, os métodos de extração, os quais removem um volume fixo de solo, são tidos como os de maior precisão e considerados como padrão de calibração de outras técnicas de amostragem (Van Noordwijk, 1993; Dowdy et al., 1998). Por outro lado, a tecnologia digital tem amenizado, consideravelmente, o esforço envolvido na quantificação dos parâmetros de interesse, com a introdução de software de análise de imagens, que possibilitam a automatização do trabalho, antes realizado manualmente (Jorge e Crestana, 1996).

Uma descrição completa do enraizamento deve considerar tanto as variações na extensão vertical como horizontal do sistema radicular (Van Noordwijk, 1993). Todavia, no caso das pastagens de gramíneas estoloníferas, onde as plantas estão muito próximas entre si, em todas as direções na superfície, a densidade radicular varia principalmente na direção vertical (Bengough et al., 2000).

O presente trabalho apresenta uma metodologia de trabalho baseada no método de escavação e extração de volumes fixos de solo, e no uso de análise digital de imagens para a quantificação de características morfológicas do sistema radicular de *Brachiaria humidicola*. O objetivo é avaliar a distribuição vertical das raízes, explorando as possibilidades interpretativas que a técnica proposta oferece.

Material e métodos

O estudo foi realizado em novembro de 1999 em uma pastagem de *B. humidicola* instalada em 1985 em um piquete da área experimental do Instituto de Zootecnia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRRJ) (22° 45' sul; 43° 41' oeste, 33 m.s.n.m.) dedicada à caprinocultura.

* Eng. Agrônomo MSc. Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rodovia BR 465, KM 7 S/ N 23890-000 – Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: febrasil@bol.com.br

** Professor do Depto de Solos, UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil. Bolsista do CNPq

*** Professor do Depto. de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

† Professor do Depto. de Nutrição Animal e Pastagens, UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil.

O solo do local, classificado como Planossolo, textura arenosa (Ramos et al., 1973) apresenta, a partir de 0.6 - 0.70 m de profundidade, um horizonte B_x muito coeso, sobre relevo suave ondulado. Na Tabela 1 apresenta-se algumas propriedades físicas e químicas representativas desse solo.

Após seleção de uma área representativa, procedeu-se à escavação manual de uma trincheira de 1.2 m (profundidade) x 1.5 m (largura), cujas paredes foram convenientemente preparadas para a obtenção das amostras (Böhm, 1979). Inicialmente, afixou-se numa das paredes um molde de madeira, de forma retangular subdividido verticalmente em seções de 0.1 x 0.2 m, até a profundidade de 0.7 m. De cada seção foram retirados com auxílio de um monólito metálico blocos prismáticos de 0.1 m x 0.2 m x 0.05 m, os quais foram condicionados em sacos plásticos para posterior lavagem e separação das raízes. O procedimento de coleta foi repetido nas outras paredes, obtendo-se quatro repetições por profundidade.

A separação e lavagem das raízes foram realizadas em local à sombra, por dispersão em água corrente com agitação manual. As raízes foram recuperadas por peneiramentos sucessivos, em malha de 2 e 0.25 mm, o que demandou, em média, cinco lavagens por amostra. As raízes foram classificadas em três classes de diâmetro: grossas (RG); medias, (RM) e finas (RF). Os diâmetros das classes RG e RM, aferidos com paquímetro, variaram entre 2.5 - 1.6 e 1.5 - 0.8 mm, respectivamente, e para RF entre 0.8 - 0.25mm. As amostras foram envolvidas em papel toalha umedecido e conservadas temporariamente sob refrigeração até o momento de seu processamento analítico. Para tal, os segmentos radiculares foram dispostos sobre folhas de transparência com auxílio de pinças metálicas, evitando-se sobreposições dos eixos radiculares e levadas a um scanner de mesa, onde as imagens foram adquiridas com uma resolução de 100 dpi e tons

de cinza. As imagens digitalizadas foram salvas em arquivos de extensão TIFF (Tagged Image File Format) conforme Dowdy et al. (1995). Após esta etapa, as imagens geradas foram convertidas para BMP (bit map) e pré-processadas para correção de fundo e eliminação de bordas e sombras, com auxílio de software específico. A seguir, foram processadas com o software SIARCS 3.0 (Jorge et al., 1996) para a determinação do seu comprimento (CR) e área superficial (AR). Subseqüentemente, foram postas a secar em estufa com circulação forçada de ar, por 48 h a 65 °C para a obtenção da massa seca radicular (MSR).

Na análise dos resultados, todos os valores foram expressos por unidade de volume de solo extraído, segundo a expressão:

$$DR_{(C, A, MS)} = CR, AR, MSR/Vs$$

onde,

CR, AR e MSR denotam respectivamente o comprimento (m), área superficial (cm²) ou a massa seca (g) das raízes na amostra; Vs é o volume de solo amostrado (1 dm³); e DR a densidade radicular (Van Noordwijk, 1993) expressa na base desses três parâmetros.

Os dados foram ajustados a uma função exponencial decrescente, da forma:

$$DR = a \cdot \exp(-b \cdot z)$$

onde,

a = parâmetro de ajuste; b = taxa de decréscimo relativo da DR (m⁻¹) e z = profundidade (m). Foram estimadas as funções para cada classe de diâmetro, assim como para os valores totais, usando-se os valores médios de quatro repetições. Para efeitos de

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do Planos solo da area experimental do Instituto de Zootecnia. UFRRJ. Seropédica. RJ. Brasil. Novembro, 1999.

Profundid. (m)	Horiz.	Textura	Ca	Mg	H + Al	Al	pH(H ₂ O)	C (g/kg)	P	K
			(cmol _c /dm ³)						(Mg/kg)	
0.0 - 0.1	A _p	Arenosa	0.6	0.3	0.7	0.3	4.9	3.09	5	75
0.1 - 0.2	A/AE	Arenosa	0.5	0.2	0.5	0.2	5.1	2.75	7	66
0.2 - 0.3	AE/E	Arenosa	0.5	0.2	0.4	0.1	5.3	2.12	4	45
0.3 - 0.4	E	Arenosa	0.5	0.3	0.7	0.2	5.0	1.64	3	70
0.4 - 0.5	E/EB _x	Franco-arenoso	0.6	0.3	1.3	0.4	4.8	1.25	4	86
0.5 - 0.6	EB _x	Franco-arenoso	0.7	0.5	1.6	0.8	4.9	0.96	2	78
0.6 - 0.7	B _x	Franco-argilosa-arenosa	0.6	0.5	1.5	1.0	4.8	1.04	1	80

cálculo, cada camada foi representada pelo seu valor médio (Ex: 0 - 0.1m, $z = 0.05$ m).

Adicionalmente, foram calculados os valores correspondentes à expressão das características estudadas por unidade de superfície ocupada pela pastagem, considerando-se a somatória dos valores entre 0 - 0.7 m e a área superficial do solo (0.02 m^2) a partir das qual foram coletadas as amostras.

Resultados e discussão

Densidade do comprimento radicular (DCR). A distribuição da DCR total da pastagem mostrou um acentuado declínio com a profundidade (z), decrescendo de 173.5 m/dm^3 para 4.85 m/dm^3 entre 0.1 e 0.7 m. Este declínio foi bem descrito pela função exponencial ($R^2 = 0.927$, Figura 1). Nos primeiros 0.2 m do perfil concentrou-se 80% da DCR total da pastagem (Tabela 2). Analisando-se os percentuais dentro de cada camada de solo, em função de classes de diâmetro e profundidade, observou-se que raízes finas contribuíram com 96% da densidade radicular média na camada 0 - 0.1 m, e acima de 90% entre 0.6 - 0.7 m (Tabela 3). Como conseqüência, a variação da sua densidade em profundidade praticamente confunde-se com a correspondente à densidade total (Figura 1).

As raízes com diâmetro maior que 0.8 mm (RG e RM) contribuíam, com menos de 4% ao comprimento radicular total na camada superficial do solo, porém tenderam a aumentar relativamente a sua participação

Tabela 2. Distribuição percentual de raízes grossas, médias, finas e totais de *Brachiaria humidicola*. Expressa como densidade de comprimento (DCR), área superficial (DAR) e massa seca (DMSR) radicular nos primeiros 0.7 m do perfil do solo. Seropédica. RJ. Brasil. Novembro, 1999.

Camada (m)	Raízes			Total
	Grossas	Médias	Finas	
DCR (%)				
0.0 - 0.1	31.5	43.2	59.7	59.0
0.1 - 0.2	26.1	28.0	20.7	21.2
0.2 - 0.3	15.4	7.3	7.2	6.8
0.3 - 0.4	19.6	11.3	4.7	5.2
0.4 - 0.5	3.5	4.9	3.8	3.8
0.5 - 0.6	2.0	2.1	2.4	2.4
0.6 - 0.7	2.0	3.2	1.6	1.6
DAR (%)				
0.0 - 0.1	32.4	42.7	57.0	55.3
0.1 - 0.2	28.0	28.9	21.3	22.1
0.2 - 0.3	19.0	11.6	7.6	8.2
0.3 - 0.4	11.9	7.8	6.0	6.3
0.4 - 0.5	5.1	4.7	4.1	4.2
0.5 - 0.6	1.7	1.7	2.4	2.4
0.6 - 0.7	1.9	2.6	1.4	1.5
DMSR (%)				
0.0 - 0.1	41.8	47.8	60.0	56.1
0.1 - 0.2	29.1	30.2	20.2	22.7
0.2 - 0.3	13.6	9.9	7.9	8.7
0.3 - 0.4	9.1	5.2	5.9	6.0
0.4 - 0.5	3.6	2.6	2.8	2.8
0.5 - 0.6	0.9	1.7	2.0	1.9
0.6 - 0.7	1.8	2.6	1.7	1.8

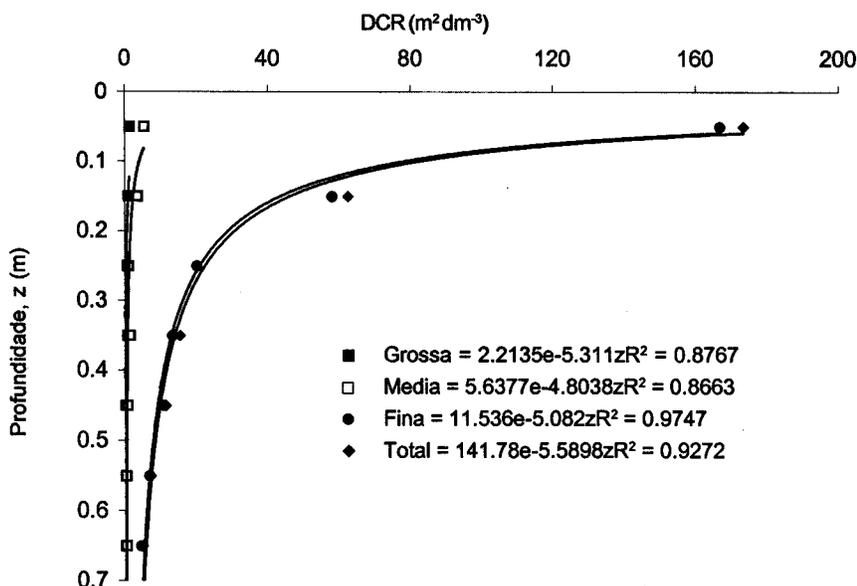


Figura 1. Equações descritivas da distribuição vertical da densidade do comprimento radicular (DCR) total, e das raízes grossas, médias e finas de uma pastagem de *Brachiaria humidicola*. Seropédica. RJ. Brasil.

Tabela 3. Distribuição percentual de raízes grossas, médias e finas de *Brachiaria humidicola*, expressa como densidade de comprimento (DCR), área (DAR) e massa seca (DMSR) radicular, dentro de cada camada amostrada, nos primeiros 0.7 m do perfil do solo. Seropédica. RJ. Brasil. Novembro, 1999.

Camada (m)	Raízes		
	Grossas	Médias	Finas
	DCR (%)		
0.0 - 0.1	0.7	3.1	96.2
0.1 - 0.2	1.7	5.5	92.8
0.2 - 0.3	3.1	4.5	95.1
0.3 - 0.4	5.1	9.1	85.7
0.4 - 0.5	1.2	5.3	93.4
0.5 - 0.6	1.1	3.7	95.4
0.6 - 0.7	1.6	8.0	90.1
	DAR (%)		
0.0 - 0.1	1.6	5.7	92.8
0.1 - 0.2	3.4	9.6	87.0
0.2 - 0.3	6.3	10.3	83.4
0.3 - 0.4	5.1	9.1	85.7
0.4 - 0.5	3.3	8.2	88.5
0.5 - 0.6	2	5.4	92.6
0.6 - 0.7	3.3	12.4	84.4
	DMSR (%)		
0.0 - 0.1	6.3	15.3	78.2
0.1 - 0.2	10.9	23.9	65.5
0.2 - 0.3	13.0	19.9	67.1
0.3 - 0.4	13.3	15.8	71.0
0.4 - 0.5	9.9	16.3	73.8
0.5 - 0.6	4.9	16.3	78.4
0.6 - 0.7	6.7	25.3	67.6

com a profundidade, contribuindo com um máximo de 14%, na camada 0.3 - 0.4 m (9% para RM; 5% para RG), decrescendo a seguir, para aumentar novamente (10%) na camada 0.6 - 0.7 m onde já ocorre o horizonte B_x (Tabela 2). Entretanto, deve ser observado que os valores absolutos de DR dessas classes de raízes nessa camada, são muito pequenos (0.1 e 2 m/dm³ para RM e RG, respectivamente). Valores muito similares, à mesma profundidade, para raízes com diâmetro maior que 1 mm, foram observados por Rodrigues e Cadima-Zevallos (1991) em pastagem de *B. humidicola* instalada sobre Oxisolo amarelo no sul do Estado da Bahia.

Densidade de área radicular (DAR). A Figura 2 mostra os dados e as equações correspondentes à variação da DAR em função da profundidade, para cada classe de raiz. Deve ser observado que esses valores correspondem à área superficial planar das raízes (comprimento x diâmetro). Como esperado, e considerando-se os valores totais por amostra, foi observada uma relação linear altamente significativa entre a área e o comprimento total das raízes ($b = 7.77 \pm 0.163 \text{ cm}^2/\text{m}$; $R^2 = 0.998$, $P < 0.0001$). Portanto, dependendo da natureza do estudo, a estimativa da DAR poderia ser redundante.

A determinação desta característica poderia ser de maior utilidade em casos onde o comprimento e o diâmetro das raízes fosse afetado diferencialmente pela presença de barreiras químicas ou físicas no solo, limitantes ao crescimento radicular (Costa et al., 2000). O solo da área caracteriza-se pela acumulação sub-superficial de argila, qual poderia afetar

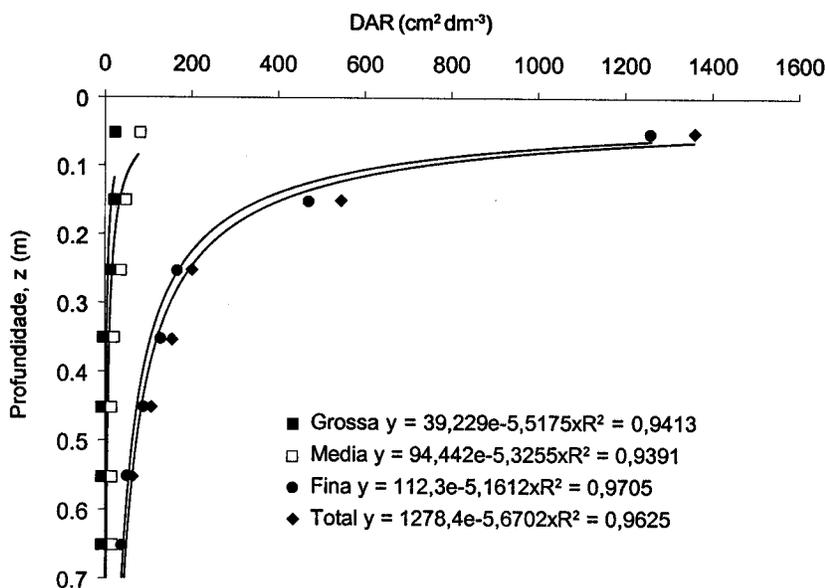


Figura 2. Equações descritivas da distribuição vertical da densidade da área radicular (DAR) total, e das raízes grossas, médias e finas de uma pastagem de *Brachiaria humidicola*. Seropédica. RJ. Brasil.

fisicamente o crescimento das raízes. Entretanto, os diâmetros médios das classes avaliadas, calculados a partir dos dados obtidos pela análise de imagens não mostraram qualquer tendência de variação com a profundidade.

Densidade da massa seca radicular (DMSR). A distribuição vertical da DMSR total ajustou-se à função proposta ($R^2 = 0.949$), declinando de 7.25 para 0.23 g/dm^3 entre as camadas 0 - 0.1 e 0.6 - 0.7 m (Figura 3). Quase 80% da massa radicular da pastagem ocorreu nos primeiros 0.2 m, e 94% na camada 0.3 - 0.4 m (Tabela 2). Padrões qualitativamente similares de distribuição vertical da massa radicular foram observados por Rodrigues e Cadima-Zevallos (1991) em *B. humidicola* e por Kanno et al. (1999) em *B. decumbens* e *B. brizantha*.

A contribuição das raízes finas à DMSR total resultou bastante elevada, tanto na camada superficial (78%) como em profundidade, variando entre 67% e 78% para valores entre 0.4 - 0.7 m (Tabelas 2 e 3). As raízes médias e grossas, em conjunto, contribuíram com 21% nas camadas 0 - 0.1 e 0.5 - 0.6 m, porém com quase 35% na camada 0.1 - 0.2 m (11% para RG e 24% para RM, Tabela 2). Observou-se que nos primeiros 0.2 m do perfil acumulou-se 71% da massa total de raízes grossas; 78% de médias e 80% de finas (Tabela 3), resultados que indicam uma predominância geral da massa de raízes finas sobre a de médias e grossas.

Oliveira (2000) em pastagens de *B. brizantha* de diferentes idades (entre 4 meses e 13 anos), implantadas sobre Latossolo Vermelho Escuro argiloso em Campo Grande, MS, observou uma

situação inversa, onde a massa seca de raízes grossas e médias predominou sobre as finas dentro da seção do perfil amostrada (0 - 0.4 m). Entretanto, nesse estúdio a proporção da massa de raízes finas aumentou nas pastagens mais antigas e degradadas, das quais tinha sido retirado o pastejo devido a sua baixa produtividade. Por outro lado, os dados de Clark et al. (1998) em duas pastagens de *Tripsacum dactyloides* (uma com mais de 50 anos e outra com 5 anos de implantação), mostram que a pastagem mais antiga, mesmo com uma massa seca radicular total menor em relação à mais nova, tinha uma massa de raízes pequenas ($< 1 \text{ mm}$) 27% maior, quando comparadas à mesma profundidade de enraizamento (1.2 m.). Esses resultados permitem supor que a subutilização ou a idade da pastagem possa induzir uma maior contribuição das raízes de menor diâmetro à massa total do sistema radicular. Não está claro, todavia, o possível significado funcional de tal modificação estrutural. Uma melhor compreensão pode exigir a determinação da relação entre a bio e a necromassa radicular (Rossiello et al., 1999). Alternativamente, pode ser suposto que na pastagem estudada, a ausência de adubação e pastejo sistemático (J.B.R. de Abreu, observação pessoal) num solo com baixa fertilidade natural e pobre em carbono orgânico (Tabela 1), possa estar limitando a atividade da biomassa microbiana do solo e conseqüentemente retardando a decomposição das raízes finas, tal como sugerido por Oliveira (2000).

Um resumo dos dados obtidos neste estudo de distribuição vertical, expressos por unidade de superfície, mostra-se na Tabela 4. Na comparação desses resultados, deverão ser consideradas não só diferenças nas propriedades físicas e químicas entre

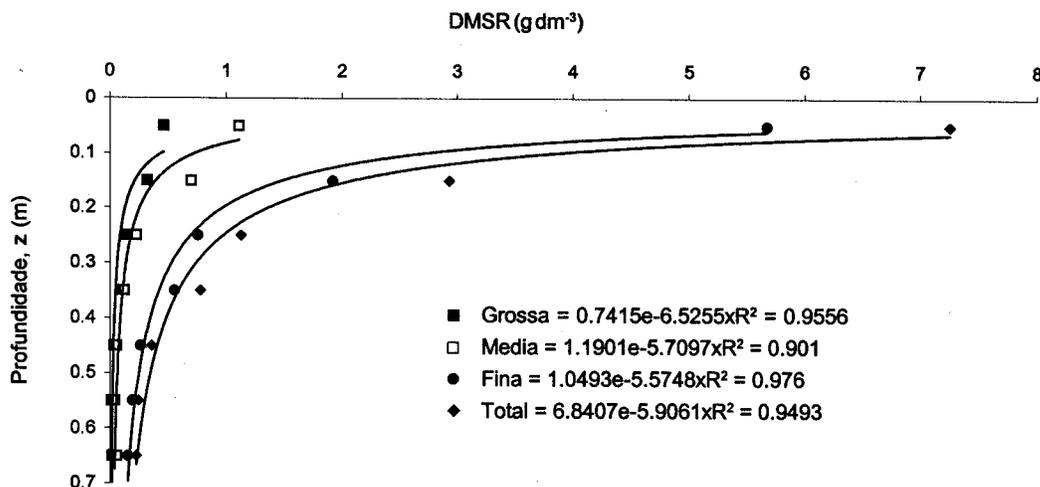


Figura 3. Equações descritivas da distribuição vertical da densidade da massa seca radicular (DMSR) total, e das raízes grossas, médias e finas de uma pastagem de *Brachiaria humidicola*. Seropédica. RJ. Brasil.

Tabela 4. Valores médios \pm DE de comprimento (CR), área (AR), massa seca (MSR) e comprimento específico radicular (CER) expressos por unidade de superfície de solo. Em função das classes de raízes de uma pastagem de *Brachiaria humidicola*. Entre 0 e 0.7 m de profundidade. Seropédica. RJ. (Brasil). Novembro, 1999.

Classe de raízes	Característica	% do Total
	CR (km/m ²)	
Fina	28.0 \pm 6.62	94.7
Média	1.2 \pm 0.17	4.0
Grossa	0.4 \pm 0.11	1.3
Total	29.6 \pm 6.55	—
	AR (m ² /m ²)	
Fina	22.1 \pm 3.63	89.9
Média	1.8 \pm 0.34	7.4
Grossa	0.7 \pm 0.30	2.7
Total	24.5 \pm 3.69	—
	MSR (kg/m ²)	
Fina	1.0 \pm 0.11	73.6
Média	0.2 \pm 0.03	17.9
Grossa	0.1 \pm 0.04	8.5
Total	1.3 \pm 0.14	—
	CER (m/g)	
Fina	29.2 \pm 4.54	—
Média	5.2 \pm 0.10	—
Grossa	3.4 \pm 0.53	—
Total	25.0 \pm 5.10	—

os solos, como também nos níveis de adubação aplicados e nas intensidades de desfolha propiciadas pelos diversos sistemas de pastejo.

Conclusões

O presente trabalho mostra que uma avaliação da distribuição vertical do sistema radicular *B. humidicola* permite a obtenção de inferências acerca da sua estrutura e funcionalidade. Uma separação cuidadosa das raízes por classes de diâmetro é essencial para esse tipo de estudos. O método empregado, baseado na extração de volumes fixos de solo, acoplado à análise de imagens, resultou suficientemente sensível para captar as tendências dominantes dessa distribuição. A geometria das raízes finas foi responsável por quase a totalidade do comprimento e área superficial do sistema, e também por mais que a metade da sua massa seca total, particularmente na camada superficial do solo.

Resumen

En un Planosol del campus de la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, en Seropédica, RJ, (Brasil) se cuantificó la distribución vertical de las características morfológicas del sistema radicular de *Brachiaria humidicola* en una pastura establecida. Los datos fueron obtenidos a través de un método de excavación

y extracción en secuencia de monolitos en el perfil del suelo (1 m x 0.2 m x 0.05 m). Las raíces recuperadas fueron clasificadas manualmente en tres clases, según su diámetro: gruesas (2.5 - 1.6 mm), medias (1.5 - 0.8 mm) y finas (0.8 - 0.25 mm) y evaluadas en relación con su masa seca, longitud y área superficial. Los resultados indicaron que esas características se distribuyeron según un patrón exponencial decreciente con la profundidad, dentro de la sección del perfil muestreado (0 - 0.7 m.). Las raíces finas se encontraron en su mayoría hasta 0.2 m en el perfil del suelo y explicaron casi la totalidad de la longitud y el área del sistema radicular, y más de la mitad de su masa seca total. El método de muestreo utilizado, acoplado con el análisis digital de imágenes, fue suficientemente sensible para detectar variaciones en la distribución vertical de las tres clases de diámetro de raíces estudiadas.

Summary

With the purpose of quantifying the vertical distribution of morphologic traits of the root system of *Brachiaria humidicola* it was made a study in a pasture implanted on a Planosol in the campus of the Rural Federal University of Rio de Janeiro, in Seropédica, RJ, Brazil. The data were obtained through a method of excavation and sequential extraction of soil monoliths. The recovered roots were classified manually in three size classes by diameter: thick, medium and fine and quantified in relation to dry mass, total length and superficial area. The results indicated that those parameters were distributed according to a decreasing exponential pattern in function of depth of rooting within the sampled profile section (0 - 0.7 m). Fine roots almost explained the totality of the length and the area of the root system and more of the half of the accumulated dry mass, concentrating on first 0.2 m of the profile. The sampling method used coupled to digital image processing; it was shown sufficiently sensitive to detect variations in the vertical distribution of the three root size classes studied.

Referências

- Bengough, A. G.; Castrign, A.; Pagés, L.; e Van Noordwijk, M. 2000. Sampling strategies, scaling and statistics. En: Smit, A. L.; Bengough, A. G.; Engels, C.; Van Noordwijk, M.; Pellerin, S.; e Van de Geijn, S. C. (eds.). Root methods: a handbook. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. p. 147-174.
- Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. Berlin: Springer-Verlag. 188 p.
- Clark, R. B.; Alberts, E. E.; Zobel, R. W.; Sinclair, T. R.; Miller, M. S.; Kemper, W. D.; e Foy, C. D. 1998. Eastern gamagrass (*Tripsacum dactyloides*) root penetration into and chemical properties of claypan soils. Plant Soil. 200:33-45.

- Corsi, M.; Martha Jr., G. B.; e Pagotto, D. S. 2001. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. En: Soares, W. R.; Pedreira, C. G.; Siva, S. C. da (eds.). A produção animal na visão dos brasileiros. Sociedade Brasileira de Zootecnia. Piracicaba. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiros (FEALQ). p. 838-852.
- Costa, C.; Dwyer, L. M.; Hamilton, R. I.; Hamel, C.; Nantais, L.; e Smith, D. L. 2000. Sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis. Agron. J. 92:621-627.
- Dowdy, R. H., Nater, E. A.; e Dolan, M. S. 1995. Quantification of the length and diameter of root segments with public domain software. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26:459-468.
- _____; Smucker, A. J., Dolan, M. S., e Ferguson, J. C. 1998. Automated image analysis for separating plant root debris elutriated from soil cores. Plant Soil 200:91-94.
- Jorge, L. A. e Crestana, S. 1996. Siarcs 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. En: Congresso Latino Americano de Ciência do solo. 13. Campinas, Sociedade Brasileira Ciência do Solo (SBCS). CD-ROM. 5 p.
- Kanno, T.; Macedo, M. C.; Euclides, V. P. B.; Bomo, J. A.; Santos, J. D. Rocha, M. C.; e Beretta, L. G. 1999. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian savannas. Grassl. Sci. 45:9-14.
- Oliveira, O. C. 2000. Parâmetros químicos e biológicos relacionados com a degradação de pastagens de *Brachiaria* spp. no Cerrado brasileiro. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). 243 p.
- Ramos, D. P.; Castro, A. F.; e Camargo, M. N. 1973. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pesqu. Agropec. Brasil. Série Agronomia 8:1-27.
- Rodrigues, A. C. e Cadima-Zevallos, A. 1991. Efeito da intensidade de pastejo sobre o sistema radicular de pastagem. Pesqu. Agropec. Brasil. 26:439-445.
- Rossiello, R. O.; Brasil, F. C.; Olivares, F. L.; Zonta, E.; Mariano, M. A.; e Alves, V. F. 1999. Avaliação da proporção de raízes vivas e mortas de *Brachiaria* sp. utilizando cloreto de tetrazólio e microscopia ótica. En: Quintana, I. S. (ed.), 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Resúmenes. Universidad de la Frontera, Temuco, Chile. p. 371.
- _____; Araújo, A. P.; Manzatto, C. V.; e Fernandes, M. S. 1995. Comparação dos métodos fotoelétrico e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. Pesqu. Agropec. Brasil. 30:633-638.
- Scurlock, J. M. e Hall, D. O. 1998. The global carbon sink: a grassland perspective. Global Change Biol. 4:229-233.
- Van Noordwijk, M. 1993. Roots: length, biomass, production and mortality. En: Anderson, J. M. e Ingram, J. S. (eds.). Tropical Soil Biology and Fertility: a handbook of methods. Wallingford: CAB International. p. 132-144.