

EFEITOS DE SUBSTRATOS E RECIPIENTES UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DAS MUDAS SOBRE A ARQUITETURA DO SISTEMA RADICULAR DE ÁRVORES DE ACÁCIA-NEGRA¹

Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves², Cristiane de Conti Medina², Mateus Carvalho Basilio de Azevedo³, Antonio R. Higa⁴ e Augusto Simon⁵

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi caracterizar a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra (*Acacia mearnsii*) aos três anos após o plantio, em razão da combinação de oito tipos de recipientes e seis misturas de substratos usados na produção das mudas, levando-se em consideração atributos químicos e físicos do solo. As árvores foram plantadas no município de Cristal (RS), em solo Podzólico Vermelho Escuro, que apresentou alta densidade, baixo pH e excesso de alumínio. O tratamento que teve maior desenvolvimento radicular foi o fertil-pot, com substrato constituído por solo adubado, que diferiu estatisticamente dos tratamentos tubete redondo, com solo adubado + casca de acácia esgotada + vermiculita; paper pot, com solo adubado e laminado acondicionado em caixas de madeira, com solo adubado. O desenvolvimento e arquitetura das raízes no campo foram afetado pelo recipiente, mas não pelo substrato utilizado na fase de viveiro.

Palavras-chave: Propagação, *Acacia mearnsii* e raiz.

EFFECT OF NURSERY SUBSTRATA AND CONTAINERS ON ROOT SYSTEM ARCHITECTURE OF BLACK WATTLE TREES

ABSTRACT – The objective of this study was to characterize the architecture of the root system of black wattle trees (*Acacia mearnsii*), three years after planting, in relation to eight types of containers and six substrata used in the nursery, considering chemical and physical conditions of the soil. The experiment was carried out in Cristal (RS), in a Podzolic Dark Red soil. The soil presented high density, low pH and excess of aluminum. The treatment that induced larger root development was fertil-pot with fertilized soil, which differed significantly from the treatments round plug, with fertilized soil + acacia exhausted bark + vermiculite; paper pot, with fertilized soil and laminated in wood box, with fertilized soil. The development and the architecture of the roots in the field was affected by the container but not by the substrata used in the nursery.

Keywords: propagation, *Acacia mearnsii* and root.

1. INTRODUÇÃO

Popularmente conhecida como acácia-negra, a *Acacia mearnsii* é uma árvore nativa da Austrália. A finalidade principal do seu cultivo é a extração do tanino da sua casca, que é utilizado na indústria de couros.

As árvores também podem ser usadas como material de construção e combustível e para a obtenção de pasta de celulose (DUKE, 1981). Atualmente, tem grande importância comercial para produção e exportação de cavacos, com uma área de plantio anual superior a 30.000 ha, no Rio Grande do Sul. Os povoamentos de acácia-

¹ Recebido em 07.11.2003 e aceito para publicação em 10.08.2005.

² Departamento de Agronomia da UEL, Cx. Postal 6001- 86051-990 Londrina, PR. E-mail: <csvjneve@uel.br>; <medina@uel.br>.

³ Departamento de Agronomia da UEL, Cx. Postal 6001- 86051-990 Londrina, PR.

⁴ Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, R. Bom Jesus, 650, 80035-010 Curitiba-PR. E-mail: <arhiga@floresta.ufpr.br >.

⁵ Engenheiro Florestal, Tanagro S.A. Rua T. Weibull, 199 – 95780-000 Montenegro-RS.

negra nesse estado, entretanto, têm apresentado problemas de tombamento com o vento.

Dentre os fatores que influenciam o tombamento de árvores, a arquitetura do sistema radicular é de grande importância (COUTTS, 1983). A forma, a profundidade e a distribuição das raízes dependem do ambiente e do potencial genético de cada espécie. Impedimentos físicos ou químicos do solo podem dificultar o pleno desenvolvimento das raízes (REIS et al., 1989).

A qualidade das mudas é fator fundamental para o sucesso de povoamentos florestais; busca-se produzir mudas em grande quantidade e com qualidade. De acordo com Evans (1992), os recipientes mais usados têm capacidade para 40 a 250 cm³, ressaltando-se que as mudas de folhosas tropicais tendem a requerer recipientes maiores do que *Pinus* e *Eucalyptus*. Nestes dois gêneros, no Brasil, os viveiristas têm utilizado os tubetes de polipropileno de 50 cm³ (GONÇALVES e POGGIANI, 1996) e substratos à base de vermiculita e casca de *Pinus* compostada, mas, na acácia-negra, não há relatos sobre a melhor combinação de diferentes recipientes e substratos.

As malformações causadas nas raízes pelos recipientes na fase de mudas podem provocar problemas nas plantas adultas, muitos anos depois (SHEPHERD, 1986). Entretanto, nessa fase de campo há carência de trabalhos sobre a influência dos recipientes e substratos usados na produção de mudas. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a quantidade de raízes e a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra, aos três anos de idade, em função de recipientes e substratos utilizados na produção das mudas, considerando-se, também, os atributos do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Ouro Verde, no município de Cristal (RS), pertencente à TANAC S.A., em um experimento desenvolvido por essa empresa em parceria com a Fundação de Pesquisa Florestal do Paraná (FUPEF) e a EMBRAPA – Floresta, em maio de 1999.

Foram avaliados oito recipientes e seis substratos empregados durante a fase de viveiro (Tabela 1). Por ser ensaio exploratório, para a escolha dos tratamentos procurou-se considerar todos os recipientes normalmente utilizados e outros conhecidos apenas pela literatura. Com relação aos substratos foram usados diversos materiais disponíveis na região. Das combinações dos recipientes e substratos (Tabela 1), resultaram os 28 tratamentos listados a seguir (em que o primeiro número se refere ao recipiente e o segundo, ao substrato): 1-1; 1-3; 2-1; 2-3; 2-5; 3-2; 3-3; 3-4; 3-5; 4-2; 4-3; 4-4; 4-5; 5-2, 5-3; 5-4; 5-5; 6-1; 6-3; 6-4; 6-5; 6-6; 7-1; 7-2; 7-3; 7-4; 8-1; e 8-3. Além dos tratamentos citados, foram incluídas, na avaliação, árvores cujas mudas foram formadas pelo sistema comercial empregado na região produtora (recipiente laminado sobre o chão com substrato de terra de barranco).

O experimento foi instalado em solo podzólico vermelho-escuro A proeminente e moderado, com textura franco-arenosa/franco-argilosa (Tabela 2) e relevo ondulado. Para o plantio das mudas, foi feito o preparo do solo com duas subsolagens, a 30 cm de profundidade, com subsoladores de cinco e três hastes, seguidas de abertura de sulcos.

Tabela 1 – Recipientes com os respectivos volumes e substratos usados na produção de mudas de acácia-negra
Table 1 – Containers with respective volumes and substrata used for Black Wattle seedlings production

Recipiente (R)	Volume (cm ³)	Substrato (S)
1) Laminado sobre o chão	49	1) Solo adubado*
2) Saco plástico	538	2) Plantmax
3) Tubete redondo	55	3) 50% solo adubado* + 50% casca de acácia esgotada
4) Tubete quadrado	55	4) 33% solo adubado* + 33% casca de acácia esgotada + 33% vermiculita
5) Bandeja de isopor	32	5) 33% solo adubado* + 33% serragem de pinus curtida + 33% vermiculita
6) Paper pot	37	6) 60% solo adubado* + 40% casca de acácia esgotada
7) Fertil-pot	42	
8) Laminado acondicionado em caixa de madeira	49	

*6 kg m⁻³ de NPK 5-30-15.

Tabela 2 – Granulometria do solo utilizado para o plantio de mudas de acácia-negra**Table 2** – Granulometry of the soil used for planting of Black Wattle seedlings

Prof. (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)		
	Areia	Silte	Argila
0 – 20	780	120	100
20 – 40	700	170	130
40 – 60	610	160	230
60 – 80	400	300	300
80 – 100	320	330	350

A avaliação da arquitetura dos sistemas radiculares foi feita aos três anos após o plantio. Para isso foram utilizadas três repetições, com uma planta por parcela. O método usado foi o da escavação (BÖHM, 1979). Com retroescavadeira foi cavada uma trincheira em volta de cada planta, a cerca de 1,5 m de distância do tronco e profundidade de 1 m. A seguir, a planta, depois de ter sua copa cortada a cerca de 1 m de altura, foi amarrada pelo tronco e arrancada. A terra agregada ao sistema radicular foi retirada, e as raízes de diâmetro inferior ou igual a 2 mm foram eliminadas com tesoura. Em seguida, com o auxílio de traves, roldanas e cordas, o sistema radicular foi pendurado e filmado. Para isso, utilizou-se como fundo um pano branco com um retângulo de dimensões conhecidas para auxiliar a quantificação posterior. De cada sistema radicular, duas imagens foram obtidas: uma superior e outra lateral. As imagens foram

digitalizadas no Laboratório de Imagens do Departamento de Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina (PR), utilizando-se uma placa para IBM-PC, com resolução espacial igual a 512 x 512 pixels e 256 tons de cinza. Com o programa SIARCS 3.0 (JORGE et al., 1996), foi determinada a área total da imagem do sistema radicular de cada árvore, bem como a área de raízes subdividida em camadas de 20 cm de profundidade. A arquitetura do sistema radicular foi avaliada através de um critério de notas, conforme a Figura 1 (REIS et al., 1996).

Para a avaliação do solo, foram retiradas amostras na linha de plantio a 75 cm da planta (metade do espaçamento entre duas plantas) e na entrelinha, nas distâncias do tronco de 33 cm (sulco do subsolador) e 66 cm (camalhão do subsolador). Foram analisadas as características químicas, a densidade e a porosidade do solo (EMBRAPA, 1979).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as diferenças entre as médias, avaliadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo a área total do sistema radicular analisada em esquema inteiramente casualizado, e os dados de área de raízes por profundidade o foram em parcela subdividida, com os tratamentos na parcela e as profundidades na subparcela. As notas atribuídas foram avaliadas com o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.

Nota	Descrição do sistema radicular - A	Nota	Descrição do Sistema Radicular - B
0	Boa arquitetura, raízes fortes, raiz principal bem desenvolvida, posicionando-se no sentido ortotrópico, e raízes laterais bem desenvolvidas no sentido plagiotrópico.	0	Raízes laterais em todos os lados.
3	Malfornado, raiz principal curvada, mas distinta.	2	Raízes laterais curvadas em um quadrante.
7	Malfornada, raiz principal estrangulada pelas raízes laterais, que não se dispõem no sentido plagiotrópico.	4	Raízes laterais curvadas em dois quadrantes.
10	Mal formado, raiz principal extremamente curvada, apresentando uma zona de constrição.	6	Raízes laterais curvadas em três quadrantes.
		8	Raízes laterais curvadas em todos os lados.
		10	Raízes laterais insignificantes.

Fonte: Extraído de Reis et al. (1996)

Figura 1 – Diagrama e notas para avaliação da arquitetura radicular, observadas nas imagens em vista lateral (A) e vista superior (B).**Figure 1** – Diagram and scores to evaluate root architecture in lateral (A) and top (B) views.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na vista lateral (Tabela 3), o desenvolvimento das raízes foi afetado pelo recipiente utilizado, pois o tratamento que teve maior desenvolvimento radicular foi o 7-1 (fertil-pot, solo adubado), que diferiu estatisticamente do tratamento 6-1 (paper pot, solo adubado). Para a vista superior do sistema radicular, também o tratamento 7-1 teve mais raízes, diferindo do tratamento 6-1 e do 8-1 (laminado acondicionado em caixa de madeira, solo adubado). Para a vista lateral, o tratamento 7-1 também diferiu do 3-4 (tubete redondo, solo adubado + casca de acácia esgotada + vermiculita).

Tabela 3 – Área total de raízes e nota para arquitetura (vistas lateral e superior) dos tratamentos de recipientes e substratos (R-S), aos três anos após o plantio de árvores de acácia-negra

Table 3 – Total root area and scores of root architecture (top and lateral view) for containers and substrata (R-S) of black wattle trees, three years after planting

Tratamento (R-S)	Área de Raízes (m ²)		Nota Arquitetura	
	Lateral	Superior	Lateral	Superior
1-1	0,760 ab ¹	0,730 abc	5,33 a ²	4,00 bcde
1-3	1,061 ab	0,838 abc	7,67 a	2,67 cde
2-1	0,893 ab	0,891 abc	5,33 a	2,00 de
2-3	1,073 ab	0,968 abc	3,00 a	4,67 abcd
2-5	1,087 ab	1,201 abc	2,00 a	2,00 de
3-2	0,926 ab	0,982 abc	10,00 a	2,67 cde
3-3	1,061 ab	1,068 abc	2,00 a	0,00 e
3-4	0,722 b	0,680 abc	7,67 a	4,67 abcd
3-5	1,031 ab	0,944 abc	7,67 a	4,00 bcde
4-2	0,920 ab	0,930 abc	5,33 a	4,00 bcde
4-3	0,891 ab	0,718 abc	5,33 a	5,33 abcd
4-4	1,124 ab	0,836 abc	5,33 a	4,67 abcd
4-5	0,930 ab	1,017 abc	4,33 a	4,00 bcde
5-2	1,080 ab	1,011 abc	7,67 a	4,67 abcd
5-3	0,878 ab	0,883 abc	10,00 a	2,00 de
5-4	0,938 ab	0,874 abc	3,00 a	2,00 de
5-5	1,077 ab	0,934 abc	7,67 a	6,00 abcd
6-1	0,677 b	0,562 c	5,33 a	9,33 a
6-3	1,041 ab	1,012 abc	3,00 a	6,00 abc
6-4	0,780 ab	0,652 bc	7,67 a	6,00 abcd
6-5	0,911 ab	0,916 abc	7,67 a	6,00 abcd
6-6	0,993 ab	1,044 abc	7,67 a	4,00 bcde
7-1	1,198 a	1,287 a	7,67 a	3,33 cde
7-2	1,053 ab	1,049 abc	7,67 a	2,00 de
7-3	1,039 ab	0,935 abc	10,00 a	5,33 abcd
7-4	1,108 ab	1,026 abc	5,33 a	4,00 bcde
8-1	0,834 ab	0,660 bc	2,00 a	8,00 ab
8-3	0,995 ab	0,865 abc	10,00 a	4,67 abcd
C	1,077 ab	0,982 abc	7,67 a	4,00 bcde
C.V. (%)	14,98	20,86	-	-
D.M.S.	0,466	0,611	-	-

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

² Notas médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Kruskal-Wallis.

Leles et al. (2000) e Barros et al. (1978), respectivamente trabalhando com mudas de *Eucalyptus* spp. e *E. grandis*, observaram que o volume do recipiente é importante para o crescimento do sistema radicular e também da parte aérea das mudas na fase de viveiro e até na fase de campo. Entretanto, Gomes et al. (1985) observaram que tubetes foram mais eficientes que bandejas de isopor para a produção de mudas de *E. grandis*, pois as bandejas, apesar de apresentarem as células com dimensões adequadas, inviabilizaram a visualização das mudas para classificação e perfuraram as paredes das células. Observou-se também que o melhor desempenho do fertil-pot não pode ser explicado pelo volume disponível para o desenvolvimento das raízes, pois esse recipiente não foi o com maior volume testado (Tabela 1). No entanto, Gomes et al. (1977) observaram que o fertil-pot teve comportamento semelhante ao do saco plástico na altura de mudas de *E. grandis*, mas foi o pior tratamento na sobrevivência das mudas, por permitir maior perda de umidade em suas paredes porosas. Essas diferenças de resposta podem ser atribuídas a características de cada espécie estudada, pois em *E. citriodora* e *E. saligna* se observou que o melhor resultado foi com laminado, enquanto *E. camaldulensis* teve melhor qualidade de mudas com sacos plásticos (MOREIRA et al., 1961, citados por BRANDI e BARROS, 1970).

Quanto ao substrato, o tratamento que induziu melhor desenvolvimento radicular (vista lateral) foi o 7-1 (fertil-pot, solo adubado), que diferiu estatisticamente dos tratamentos 3-4 (tubete redondo, solo adubado + casca de acácia esgotada + vermiculita) e 6-1 (paper pot, solo adubado) (Tabela 3). Para a vista superior do sistema radicular, também o tratamento 7-1 teve mais raízes, diferindo dos tratamentos 6-1 e 8-1 (laminado em caixa de madeira, solo adubado). Como os tratamentos 7-1, 6-1 e 8-1 tiveram o mesmo substrato e desempenhos diferentes quanto ao enraizamento, constatou-se que o desenvolvimento das raízes não foi afetado pelo substrato.

Gomes et al. (1985), testando mais de 50 combinações de vermiculita, turfa, moínha de carvão, terra de subsolo, esterco e composto orgânico em mudas de *E. grandis*, consideraram que o melhor substrato foi a mistura de 80% de composto orgânico com 20% de moínha de carvão vegetal. Também Caldeira et al. (2000), com *A. mearnsii* em substrato de casca de *Pinus* sp. mais vermiculita, concluíram que doses de vermicomposto adicionado ao substrato provocaram

diferenças no desenvolvimento das mudas. Provavelmente, o efeito do substrato foi importante para as plantas desse estudo na fase inicial de desenvolvimento. Entretanto, como a avaliação das raízes foi efetuada aos três anos após o plantio, possivelmente esse efeito do substrato tenha-se diluído. Da mesma forma, Wightman et al. (2001) constataram grandes diferenças provocadas pelos recipientes e substratos na fase de mudas de espécies nativas da Costa Rica, mas, depois de um ano no campo, a altura das árvores tinha-se igualado.

Na Tabela 4 são apresentadas as quantidades de raízes nos tratamentos nas camadas do solo a cada 20 cm. Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Na camada de 0-20 cm, os tratamentos que apresentaram maior quantidade de raízes foram 7-3 (fertil-pot, solo adubado + casca de acácia esgotada) e 3-3 (tubete

redondo, solo adubado + casca de acácia esgotada), que foram significativamente superiores aos tratamentos 4-3 (tubete quadrado, solo adubado + casca de acácia esgotada), 6-1 (paper pot, solo adubado), 6-4 (paper pot, solo adubado + casca de acácia + vermiculita), 8-1 (laminado em caixa de madeira, solo adubado). Na profundidade de 20-40 cm, os tratamentos que apresentaram maior quantidade de raízes foram 7-1 e 7-2, que diferiram do tratamento 6-1. A partir de 40 cm de profundidade, não foram observadas diferenças. Para o fertil-pot, os resultados discordam da observação de Gomes et al. (1979) em *E. grandis*, os quais afirmaram que esse recipiente induz a formação do sistema radicular mais pivotante, com poucas raízes secundárias na parte superior, em consequência da falta de restrição ao desenvolvimento radicular, fazendo que as raízes rapidamente ultrapassem a parede do recipiente, penetrando no solo.

Tabela 4 – Área de raízes, por profundidade do solo, nos tratamentos de recipientes e substratos (R-S) de acácia-negra, três anos após o plantio

Table 4 – Root area per soil layer, for containers and substrata (R-S) of black wattle trees, three years after planting

Trat. (R-S)	Profundidade do Solo (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	>100
	Área de Raízes (m ²)					
1-1	0,223 abcd	0,183 ab	0,140 a	0,077 a	0,033 a	0,032 a
1-3	0,277 abc	0,252 ab	0,187 a	0,124 a	0,063 a	0,055 a
2-1	0,244 abcd	0,237 ab	0,206 a	0,135 a	0,036 a	0,012 a
2-3	0,253 abcd	0,270 ab	0,210 a	0,157 a	0,083 a	0,033 a
2-5	0,287 abc	0,267 ab	0,210 a	0,133 a	0,080 a	0,032 a
3-2	0,273 abc	0,253 ab	0,197 a	0,113 a	0,020 a	0,021 a
3-3	0,310 ab	0,247 ab	0,207 a	0,133 a	0,060 a	0,035 a
3-4	0,253 abc	0,199 ab	0,122 a	0,061 a	0,017 a	0,024 a
3-5	0,277 abc	0,267 ab	0,183 a	0,123 a	0,077 a	0,039 a
4-2	0,263 abc	0,250 ab	0,177 a	0,127 a	0,060 a	0,017 a
4-3	0,213 bcd	0,233 ab	0,157 a	0,123 a	0,060 a	0,032 a
4-4	0,250 abcd	0,230 ab	0,183 a	0,167 a	0,090 a	0,061 a
4-5	0,280 abc	0,250 ab	0,173 a	0,107 a	0,063 a	0,020 a
5-2	0,270 abc	0,243 ab	0,180 a	0,133 a	0,083 a	0,054 a
5-3	0,240 abcd	0,197 ab	0,170 a	0,127 a	0,073 a	0,024 a
5-4	0,247 abcd	0,237 ab	0,160 a	0,117 a	0,083 a	0,029 a
5-5	0,287 abc	0,230 ab	0,207 a	0,150 a	0,050 a	0,048 a
6-1	0,213 bcd	0,160 b	0,120 a	0,070 a	0,023 a	0,024 a
6-3	0,297 abc	0,230 ab	0,170 a	0,107 a	0,070 a	0,056 a
6-4	0,193 cd	0,197 ab	0,177 a	0,100 a	0,057 a	0,017 a
6-5	0,282 abc	0,219 ab	0,159 a	0,101 a	0,045 a	0,031 a
6-6	0,293 abc	0,230 ab	0,173 a	0,140 a	0,080 a	0,025 a
7-1	0,293 abc	0,283 a	0,217 a	0,167 a	0,103 a	0,045 a
7-2	0,290 abc	0,287 a	0,193 a	0,137 a	0,090 a	0,021 a
7-3	0,333 a	0,247 ab	0,200 a	0,110 a	0,053 a	0,040 a
7-4	0,287 abc	0,267 ab	0,203 a	0,163 a	0,110 a	0,024 a
8-1	0,147 d	0,217 ab	0,153 a	0,110 a	0,060 a	0,049 a
8-3	0,217 bcd	0,257 ab	0,210 a	0,137 a	0,057 a	0,040 a
C	0,263 abc	0,270 ab	0,197 a	0,147 a	0,047 a	0,043 a
Média	0,261 A	0,238 B	0,181 C	0,124 D	0,063 E	0,033 F
CV(%)	(trat.)	15,376	(prof.)	21,345		

* Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si, no nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os tratamentos afetaram a arquitetura do sistema radicular das plantas para a vista superior, mas não para a vista lateral (Tabela 3). Verificou-se que, também quanto à arquitetura, o substrato não teve influência. Tomando como exemplo os tratamentos 6-1 e 7-1, que tiveram o mesmo substrato (solo adubado), mas comportamentos opostos quanto à arquitetura, observou-se que o tratamento 6-1 (com recipiente paper-pot) teve o pior resultado, com nota média de 9,3, que significa raízes laterais totalmente curvadas, enquanto o tratamento 7-1 (com fertil-pot) esteve entre os melhores, com nota 3,3, significando raízes laterais curvadas apenas em um quadrante (Figura 1). Além desse, destacaram-se, com bons resultados de arquitetura, os recipientes saco plástico (tratamentos 2-1 e 2-5), com nota 2,0; tubete redondo (tratamento 3-3), com nota 0,0; e bandeja de isopor (tratamentos 5-3 e 5-4), com nota 2,0. Mas o efeito de recipiente não explica totalmente os resultados, pois se constatou que esses recipientes também tiveram alguns tratamentos em que a arquitetura não teve bons desempenhos, como 2-3, 3-4, 5-5 e 7-3. Dessa forma, esses resultados levam a supor que existem outros fatores, ligados, provavelmente, às condições químicas e físicas do solo, que expliquem o comportamento das raízes. Entretanto, Barroso et al. (2000) observaram que a arquitetura do sistema radicular de *Eucalyptus* spp. foi influenciada pelos recipientes, com a ressalva de que tubetes induziram raiz pivotante indefinida e bifurcada, raízes laterais primárias finas e pouco ramificadas e menor desenvolvimento do que as mudas produzidas em blocos prensados.

As condições físicas do solo (Tabela 5) indicam que, na linha de plantio, a sua densidade foi menor e a porosidade, maior do que na entrelinha, o que é explicado pelo sulco aberto por ocasião do plantio das mudas. Na entrelinha, a densidade é alta, evidenciando que a subsolagem realizada antes do plantio não foi suficiente para descompactar o solo, ou, decorridos três anos após o plantio, seu efeito já não existia, pois a densidade do solo foi praticamente igual entre as amostras retiradas no sulco e no camalhão formado pelo subsolador. Para Camargo e Alleoni (1997), em solos arenosos, a densidade média é de 1,2 a 1,4 kg dm⁻³. Tanto na entrelinha quanto na linha de plantio, as densidades foram acima de 1,4 kg dm⁻³ (Tabela 5), o que caracteriza compactação.

Tabela 5 – Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade de acordo com profundidades e locais de amostragem na área de plantio de mudas de acácia-negra

Table 5 – Soil bulk density, total porosity, macro and microporosity in soil layers and sampling sites in the planting area of Black Watle seedlings

	Local	Profundidade (cm)			
		0-10	10-20	20-40	40-60
Densidade (kg dm ⁻³)	L	1,41	1,47	1,41	1,34
	EA	1,51	1,53	1,53	1,53
	EB	1,54	1,58	1,53	1,47
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	L	0,47	0,45	0,47	0,49
	EA	0,43	0,42	0,42	0,42
	EB	0,42	0,40	0,42	0,45
Macroporosidade (>50 mm) (m ³ m ⁻³)	L	0,27	0,19	0,16	0,24
	EA	0,22	0,18	0,14	0,21
	EB	0,20	0,13	0,15	0,17
Microporosidade (<50 mm) (m ³ m ⁻³)	L	0,20	0,26	0,31	0,25
	EA	0,21	0,24	0,28	0,21
	EB	0,22	0,27	0,27	0,28

L = linha de plantio; EA= entrelinha, a 33 cm do tronco (sulco); e EB= entrelinha, a 66 cm do tronco (camlhão).

De forma geral, as raízes sofrem severos impedimentos se as densidades do solo excederem 1,55; 1,65; 1,80; e 1,85 g cm⁻³ em solos argilosos, siltosos, franco-arenosos e areias-francas, respectivamente (GREGORY, 1988). Entretanto, mesmo antes de o solo atingir esses valores extremos, as raízes das plantas já sofrem reduções de desenvolvimento (SHIERLOW e ALSTON, 1984). As raízes só podem crescer em solos que tenham número adequado de canais suficientemente grandes para que possam penetrar. Se o solo é muito compactado, o desenvolvimento radicular é inibido, e isso pode reduzir a estabilidade das árvores (MALINOVSKI, 1996).

As condições químicas do solo (Tabela 6) também indicam que ocorreram impedimentos ao desenvolvimento das plantas. Em todos os pontos amostrados, os teores de matéria orgânica, P, K e Ca estavam em níveis considerados baixos e houve desbalançamento entre as bases Ca, Mg e K, enquanto Al e H estavam em níveis muito altos, considerando-se os padrões para o Rio Grande do Sul (MALAVOLTA, 1992). Na África do Sul, foi observado que o solo sob povoamento de acácia-negra apresentou pH 4,4, valor menor do que quando sob pastagem, com pH 5,3 (MATERECHERA e MKHABELA, 2002). Todos esses fatores citados afetam negativamente o crescimento das raízes, pois o sistema radicular tende a ser mais ramificado em solos

férteis do que em solos pobres. As raízes das plantas não se desenvolvem bem em solos muito ácidos, contendo excesso de Al ou teores muito baixos de Ca. Os efeitos do Al, primeiramente observados, são o encurtamento e engrossamento das raízes, que se tornam pardas e a emissão de novas raízes é reduzida (ROWELL, 1988). Assim, esses fatores podem também auxiliar a explicação do tombamento de plantas ocorrido na região.

Dessa forma, conclui-se que os substratos usados nas mudas não tiveram influência no desenvolvimento das raízes, mas os recipientes influenciaram o sistema radicular no campo, tanto no que diz respeito à quantidade de raízes quanto à arquitetura, pois alguns recipientes induziram o desenvolvimento de raízes curvadas. As condições físicas e químicas do solo também dificultaram o pleno desenvolvimento radicular.

Tabela 6 – Análise química do solo do povoamento de acácia negra, por profundidade e local de amostragem
Table 6 – Soil chemical analysis in layers and sampling sites in the planting area of Black Wattle seedlings

	Local	Profundidade (cm)			
		0-10	10-20	20-40	40-60
pH (CaCl ₂)	L	3,40	3,34	3,40	3,60
	EA	3,47	3,47	3,49	3,65
	EB	3,50	3,50	3,58	3,67
	Média	3,46	3,44	3,49	3,64
P (mg dm ⁻³)	L	2,27	1,87	1,02	0,65
	EA	3,27	1,52	1,52	0,77
	EB	3,22	1,82	1,07	0,62
	Média	2,92	1,74	1,20	0,68
M.O. (mg g ⁻¹)	L	18,30	22,43	12,36	18,65
	EA	23,04	16,46	15,39	19,95
	EB	19,23	16,70	18,49	15,06
	Média	20,19	18,53	15,41	17,89
V (%)	L	22,78	20,10	17,87	31,89
	EA	20,41	23,02	25,63	32,70
	EB	21,83	30,68	33,54	32,54
	Média	21,67	24,60	25,68	32,38
CTC (mmol _c dm ⁻³)	L	104,38	101,00	106,80	118,56
	EA	101,56	105,68	129,35	131,80
	EB	82,29	107,91	115,40	128,78
	Média	96,08	104,86	117,18	126,38
K (mmol _c dm ⁻³)	L	1,03	1,30	1,08	1,43
	EA	1,85	1,45	1,90	2,35
	EB	1,83	1,48	1,45	2,15
	Média	1,57	1,41	1,48	1,97
Ca (mmol _c dm ⁻³)	L	6,38	5,25	6,75	12,13
	EA	5,25	6,50	8,88	9,13
	EB	4,25	7,50	11,13	16,63
	Média	5,29	6,42	8,92	12,63
Mg (mmol _c dm ⁻³)	L	16,37	13,75	11,25	24,25
	EA	13,63	16,38	22,37	31,62
	EB	11,88	24,13	26,12	23,12
	Média	13,96	18,09	19,91	26,33
H (mmol _c dm ⁻³)	L	62,10	56,45	58,72	57,00
	EA	59,58	58,35	70,95	68,20
	EB	59,08	56,55	56,50	70,13
	Média	60,25	57,12	62,05	65,11
Al (mmol _c dm ⁻³)	L	18,50	24,25	29,00	23,75
	EA	21,25	23,00	25,25	20,50
	EB	15,25	18,25	20,25	16,75
	Média	18,33	21,83	24,83	20,25

L = linha de plantio; EA= entrelinha, a 33 cm do tronco (sulco); e EB= entrelinha, a 66 cm do tronco (camalhão).

4. AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq e à TANAC, pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, N.F. et al. Efeitos de recipientes na sobrevivência e no crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, no viveiro e no campo. **Revista Árvore**, v.2, n.2, p.141-151, 1978.

BARROSO, D.G. et al. Efeitos do recipiente sobre o desempenho pós-plantio de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *E. urophylla* S.T. Blake. **Revista Árvore**, v.24, n.3, p.291-296, 2000.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188p.

BRANDI, R.M.; BARROS, N.F. Comparação de tipos de recipientes no plantio de *Eucalyptus* spp. **Revista Ceres**, v.17, n.92, p.158-170, 1970.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; TEDESCO, N. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* em função de diferentes doses de vermicomposto. **Scientia Forestalis**, n.57, p.161-170, 2000.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: O.A. Camargo, L.R.F. Alleoni, 1997. 132p.

COUTTS, M.P. Root architecture and tree stability. **Plant and Soil**, v.71, p.171-188, 1983.

DUKE, J.A. **Handbook of legumes of world economic importance**. New York: Plenum Press, 1981. não paginado.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. – EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: 1979. não paginado.

EVANS, J. **Plantation forestry in the tropics**. Oxford: Clarendon Press, 1992. 403p.

GOMES, J.M. et al. Efeito de recipientes e substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v.1, n.2, p.167-172, 1977.

GOMES, J.M. et al. Efeito do sombreamento e tipos de suportes para fértil-pot na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta**, v.10, n.1, p.24-28, 1979.

GOMES, J.M.; COUTO, L.C.; PEREIRA, A.R. Uso de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em tubetes e em bandejas de isopor. **Revista Árvore**, v.9, n.1, p.58-86, 1985.

GONÇALVES, J.L.M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: SOLO-SUELO, CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos expandidos**. Águas de Lindóia: SLCS/SBCS/ESALQ-USP/CEA-ESALQ-USP/SBM, 1996. CD ROM.

GREGORY, P.J. Growth and functioning of plant roots. In: RUSSELL, E.J. **Russell's soil conditions and plant growth**. 11.ed. New York: Longman, 1988. p.113-167.

JORGE, L.A.C. et al. Aquisição de imagens de raízes. In: JORGE, L.A.C. (Ed.). **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: EMBRAPA/CNPDIÁ, 1996. (EMBRAPA/CNPDIÁ. Circular Técnica, 1).

LELES, P.S.S. et al. Qualidade de mudas de *Eucalyptus* spp. produzidas em blocos prensados e em tubetes. **Revista Árvore**, v.24, n.1, p.13-20, 2000.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Ceres, 1992. 124p.

MALINOVSKI, J.R. Compactação dos solos usados para fins florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1996, Águas de Lindóia. **Resumos Expandidos...**, Águas de Lindóia: 1996. CD-ROM.

MATERECHERA, S.A.; MKHABELA, T.S. The effectiveness of lime, chicken manure and leaf litter ash in ameliorating acidity in a soil previously under black wattle (*Acacia mearnsii*) plantation. **Bioresource Technology**, v.85, n.1, p.9-16, 2002.

REIS, G.G. et al. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* sob diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, v.13, n.1, p.1-18, 1989.

REIS, G.G. et al. Efeito da poda de raízes de mudas de eucalipto produzidas em tubetes sobre a arquitetura do sistema radicular e o crescimento no campo. **Revista Árvore**, v.20, n.2, p.137-145, 1996.

ROWELL, D.L. Soil acidity and alkalinity. In: RUSSELL, E.J. **Russell's soil conditions and plant growth**. 11. ed. New York: Longman, 1988. p.844-898.

SHEPHERD, K.R. **Plantation silviculture**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. 322p.

SHIERLOW, J.; ALSTON, A.M. Effect of soil compaction on root and uptake of phosphorus. **Plant and Soil**, v.77, p.15-28, 1984.

WIGHTMAN, K.E. et al. Nursery and field establishment techniques to improve seedling growth of three Costa Rican hardwoods. **New Forests**, v.22, n.1-2, p.75-96, 2001.