

Distribuição radicular de cultivares de aspargo em áreas irrigadas de Petrolina - PE.

Luís Henrique Bassoi¹, Geraldo M. Resende¹, José Egídio Flori¹, José Antonio M. Silva¹, Cristina M. Alencar²

¹Embrapa Semi-Árido, C. Postal 23, 56.300-970 Petrolina-PE; ²UNESP-FCA - Depto. Eng. Rural, C. Postal 237, 18.603-970 Botucatu-SP; E-mail: lhassoi@cpatsa.embrapa.br

RESUMO

A distribuição radicular de duas cultivares de aspargo (New Jersey 220 e UC 157 F1), irrigadas por aspersão convencional, foi avaliada durante o ano de 1997 em solos de textura arenosa, em plantio experimental e comercial, respectivamente, nos Projetos de Irrigação de Bebedouro e Senador Nilo Coelho, em Petrolina (PE). O objetivo foi obter informações do sistema radicular do aspargo, empregando-se os métodos do monolito e do perfil de solo auxiliado pela análise de imagens digitais, para o manejo de solo e água nesse cultivo. Na área experimental, a maior parte da matéria seca, área e comprimento de raízes no perfil de solo e densidade de comprimento radicular foram encontradas até a profundidade de 0,4 m nas duas cultivares, enquanto que na comercial a maior parte da área e comprimento de raízes no perfil do solo estendeu-se até a profundidade de 0,6 m (cv. New Jersey 220). Nesses dois plantios, as raízes das cultivares atingiram a profundidade de 1 m. Na área experimental, a massa seca, a área e o comprimento no perfil de solo, e a densidade de comprimento radicular nas cultivares concentraram-se até a distância de 0,6 m à linha de plantas. No intervalo de diâmetro (d) de raízes $2 < d \leq 5$ mm, foram encontrados 88 e 82,2% das raízes da cv. New Jersey 220 e UC 157 F1, respectivamente, enquanto que pela análise das imagens, o diâmetro de raízes variou entre 2,4 e 2,6 mm (cv. New Jersey 220) e 2,4 e 3,6 mm (cv. UC 157 F1). As estimativas da distribuição e do diâmetro radicular apresentaram similaridades considerando os métodos empregados.

Palavras-chave: *Asparagus officinalis*, distribuição de raízes, monolito, análise de imagens.

ABSTRACT

Root distribution of asparagus cultivars in irrigated areas of Petrolina, Brazil.

In 1997 the root distribution of two asparagus cultivars (New Jersey 220 and UC 157 F1) irrigated by sprinkler was evaluated in coarse textured soils in experimental and commercial areas at Petrolina county, in the semi-arid region of northeastern Brazil, to obtain useful information for soil and water management. Both the monolith and the soil profile aided by digital image analysis methods were used to evaluate it. In the experimental area, a greater concentration of root dry weight, root area and length in the soil profile and root length density were found up to 0.4 m depth for both cultivars, while in commercial area the root area and length of cv. New Jersey 220 were concentrated until 0.6 m depth. Roots reached 1 m depth in both areas. In experimental area, dry weight, area and length in the soil profile and the length density of the roots showed greater presence up to the distance of 0.6 m from the plant row. Most of the roots (88% for cv. New Jersey 220 and 82.2% for cv. UC 157 F1) were found with diameter greater than 2 mm and less than or equal to 5 mm, while root diameter estimated by image analysis varied from 2.4 to 2.6 mm (cv. New Jersey 220) and from 2.4 to 3.6 mm (cv. UC 157 F1). Data of both methods of root distribution analysis and diameter estimation showed similarity.

Keywords: *Asparagus officinalis*, root distribution, monolith, digital image analysis.

(Aceito para publicação em 18 de dezembro de 2.000)

No Brasil acreditava-se ser o aspargo uma cultura de clima frio, inadaptável aos locais de temperaturas elevadas, com calor ao longo do ano. Em tais condições a planta vegetaria continuamente devido à ausência do frio do inverno, necessário ao repouso e acúmulo de reservas. Segundo tal concepção, o aspargo apenas se adaptaria ao cultivo no extremo sul do Brasil, onde foi introduzido (Pelotas, RS), no início da década de 30 (Filgueira, 1982). Entretanto, especialistas americanos consideram que a seca é capaz de propiciar o período de repouso necessário à planta, independente da temperatura, simplesmente pela ausência do fornecimento de água (Gardé & Gardé, 1964).

Introduzido pela Embrapa Semi-Árido no final dos anos 70, o aspargo ocupa hoje uma área cultivada de 500 hectares no Vale do São Francisco, destacando-se como uma das maiores regiões produtoras desta cultura no país (D'Oliveira, 1992). Na região Nordeste do Brasil, o clima quente e seco e o solo arenoso, acrescidos de adequados níveis de adubação e irrigação, fizeram com que a cultura apresentasse excelente vigor, precocidade e produtividade, podendo chegar a 5.000 kg ha⁻¹, a partir do terceiro ano, quando a produção tende a se estabilizar. Com a introdução do aspargo como uma alternativa de cultivo em condições de clima quente, tor-

nou-se necessário desenvolver tecnologias, objetivando estabelecer definitivamente a cultura como uma nova opção de plantio.

Em Petrolina (PE), o bom crescimento da planta permite a obtenção de até duas colheitas por ano de aspargo branco, sendo comum esta prática entre os agricultores. A cultivar New Jersey 220, inicialmente, foi a mais utilizada devido à disponibilidade de sementes, sendo que outras cultivares, como a UC 157 F1, foram introduzidas posteriormente na região pela iniciativa privada (D'Oliveira *et al.*, 1998).

Uma das características da planta de aspargo é ser perene, com renovação

Tabela 1. Características físicas do Latossolo Vermelho Amarelo da área experimental no Projeto de Irrigação de Bebedouro, cultivado com aspargo irrigado por aspersão convencional. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Profundidade m	Areia	Silte kg ⁻¹	Argila	Densidade global kg dm ⁻³	Umidade 0,033 MPa	Umidade 1,5 MPa
					g kg ⁻¹	
0-0,2	910	40	50	1,55	40,0	23,6
0,2-0,4	910	20	70	1,44	49,0	29,3
0,4-0,6	830	40	130	1,47	75,0	37,4
0,6-0,8	800	50	150	1,44	87,4	41,8
0,8-1,0	770	70	160	1,55	105,6	45,2

constante do seu sistema radicular a cada ciclo de produção. Apresenta dois tipos de raízes: as de reservas (carnosas), que se desenvolvem a partir do rizoma, atuando, principalmente, no armazenamento de substâncias fotossintetizadas, e as fibrosas, que encontram-se sobre as anteriores, e são encarregadas da absorção de água e de nutrientes do solo (Oliveira *et al.*, 1981).

Em comparação com outros vegetais, a produção de aspargo não é diretamente o resultado da fotossíntese, mas é uma função das reservas de carboidratos que foram produzidos pela folhagem do ano anterior. A quantidade do potencial de carboidrato no início do ciclo depende diretamente da quantidade de massa radicular por planta (Martin & Hartmann, 1990). As raízes parecem ser o órgão da planta mais adaptado para avaliar o estado nutricional do aspargo, e desde que sejam estabelecidas as relações nutricionais, pode-se avaliar a disponibilidade de nutrientes no solo e estipular práticas de fertilização de acordo com o teor de nutrientes nas raízes da planta de aspargo (Hartmann *et al.*, 1990).

Na Holanda, observou-se que as produções médias de aspargo em cinco anos aumentaram com a profundidade de enraizamento. As maiores produções, superiores a 5.000 kg ha⁻¹, foram obtidas com raízes atingindo 1,5 m de profundidade (Reijmerink, 1973). Em um solo de textura silte arenosa, na Califórnia, EUA, a atividade radicular de uma cultura de aspargo proporcionou uma remoção de água abaixo de 2,5 m de profundidade (Cannell & Takatori, 1970). Em cultivos realizados no Peru e Espanha, o sistema radicular pode atingir 3 m de profundidade (Delgado de la Flor *et al.*, 1987; Ganiza Sola *et al.*, 1988).

Entre os vários meios para o estudo de sistemas radiculares, pode-se citar o método da escavação, do monolito, do trado, do perfil de solo, da parede ou tubos de vidros, e os métodos indiretos, baseados no princípio da determinação das alterações no teor de água e de nutrientes, e da radioatividade de traçadores em sucessivas amostragens. Dessas mudanças pode-se inferir informações sobre a distribuição radicular no perfil do solo (Bohm, 1979; Kopke, 1981). Juntamente com esses métodos, as técnicas de processamento de imagens digitais podem substituir a análise qualitativa da raiz por uma medida quantitativa. Em um perfil de solo, o cálculo da densidade de raiz pode ser obtido pela filtragem da imagem e calibração do Sistema Integrado para Análise de Raiz e Cobertura do Solo (SIARCS) baseado no nível de cor de cada pixel. A análise de imagens digitais de raízes expostas em um perfil de solo permite a quantificação radicular em um menor tempo, com menor requerimento de trabalho e com maior número de repetições (Crestana *et al.*, 1994). É possível obter rapidez, precisão e uma análise de acordo com a presença, tamanho, volume e superfície da raiz (Fante Jr. *et al.*, 1994). A estimativa da atividade radicular baseada na dinâmica da água, medida pela técnica de moderação de nêutrons e por tensiometria, mostrou boa correlação com a distribuição radicular estimada pela análise de imagens digitais em milho (Bassoi *et al.*, 1994). Em videiras, Bassoi *et al.* (1998) avaliaram a distribuição radicular pela análise de imagens digitais. No entanto, uma combinação de métodos pode oferecer um estudo mais completo sobre o comportamento das raízes no solo (Atkinson, 1980).

O conhecimento detalhado da distribuição radicular do aspargo cultivado na região semi-árida do Nordeste do Brasil, que se caracteriza pela necessidade de irrigação, pode trazer importantes informações práticas para o manejo da aplicação de água, do solo e da própria planta. A inexistência dessas informações levou à realização deste trabalho, que teve como objetivo avaliar o sistema radicular em plantios experimental e comercial, em áreas irrigadas de Petrolina-PE, empregando-se os métodos do monolito e do perfil de solo auxiliado pela análise de imagens digitais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Petrolina, em uma área experimental e em outra de produção comercial. A área experimental pertence à Embrapa Semi-Árido, situada no Projeto de Irrigação de Bebedouro. A área de produção comercial encontra-se no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho.

Na área experimental, em agosto de 1997, foi analisada a distribuição radicular das cultivares de aspargo New Jersey 220 e UC 157 F1 presentes em uma coleção de germoplasmas. As cultivares foram plantadas em um Latossolo Vermelho Amarelo, com alta porcentagem de areia (Tabelas 1 e 2), cujos atributos físicos e químicos foram determinados em amostras deformadas de solo, de acordo com o procedimento descrito por Embrapa (1997). O plantio da cv. New Jersey 220 foi realizado em agosto de 1990, em um espaçamento de 2,3 x 0,4 m e a produtividade média de turfeiras de primeira (diâmetro superior a 13 mm) e de segunda qualidade (diâmetro entre 8 e 13 mm) foi de 3.125

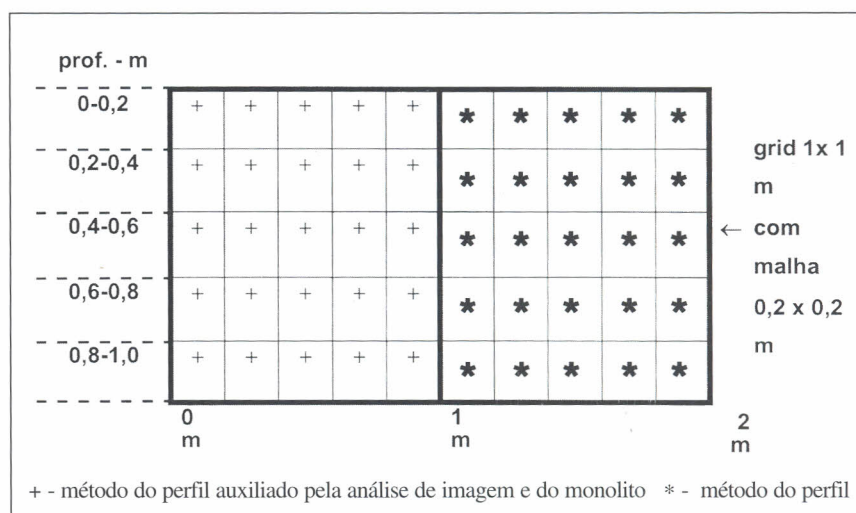
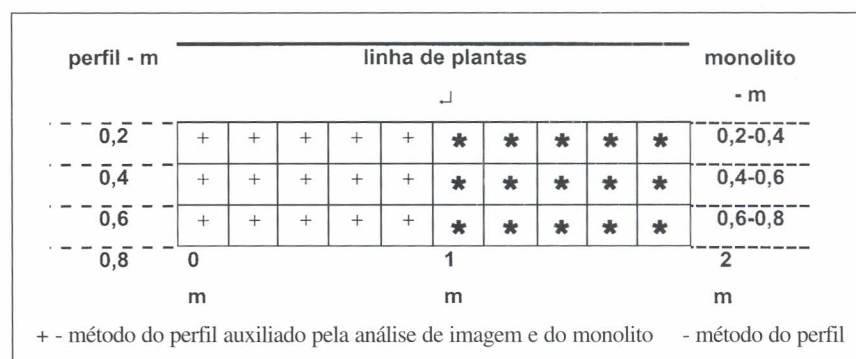
Tabela 2. Características químicas do Latossolo Vermelho Amarelo da área experimental no Projeto de Irrigação de Bebedouro, cultivado com aspargo irrigado por aspersão convencional. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Prof. m	pH H ₂ O	C.E. dSm ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H+Al	C.T.C.	Al ³⁺	V %	M.O. g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹
cmol _c kg ⁻¹												
0-0,2	6,1	0,33	1,0	0,1	0,02	0,26	0,66	2,04	0,05	68	5,8	67
0,2-0,4	6,0	0,45	1,0	0,5	0,02	0,24	0,99	2,75	0,05	64	4,1	44
0,4-0,6	4,9	0,32	1,0	0,4	0,02	0,20	1,65	3,27	0,40	50	3,3	17
0,6-0,8	4,6	0,36	0,6	0,3	0,02	0,18	1,82	3,28	0,70	38	-	-
0,8-1,0	4,4	0,46	0,8	0,4	0,02	0,16	2,15	3,53	0,70	39	-	-

C.E.:condutividade elétrica do extrato saturado a 25° C m.o.: matéria orgânica = %C x 1,725

kg ha⁻¹ entre 1991 e 1996, com uma colheita por ano, sempre no mês de novembro. Posteriormente, em 1995, foi introduzida à coleção de germoplasma a cv. UC 157 F1, com o mesmo espaçamento, tendo produtividade média de 4.802 kg ha⁻¹ em 1996. As plantas da coleção de germoplasma foram irrigadas por um sistema de aspersão convencional fixo, com aplicação de uma lâmina de água de 15 mm, duas vezes por semana (D'Oliveira *et al.*, 1998).

Foram utilizados dois métodos de análise de raízes, o do perfil de solo auxiliado pela análise de imagens digitais (Crestana *et al.*, 1994) e o do monolito (Bohm, 1979). Em cada cultivar, abriu-se uma trincheira paralelamente à fileira de plantas, com o primeiro perfil de solo a 0,8 m de distância das plantas. Uma fina camada de solo (1-2 cm de espessura) foi retirada do perfil para melhor visualização das raízes, as quais foram pintadas com tinta látex branca para um maior contraste com o solo. Um reticulado de madeira de 1 x 1 m, subdividido com uma malha de barbante branco em áreas de 0,2 x 0,2 m, foi colocado contra a parede, para auxiliar a filmagem de cada área com uma câmera de vídeo, em todo o perfil (2 m de comprimento x 1 m de profundidade). Em seguida, foram coletados monolitos de 0,2 x 0,2 x 0,2 m de cada área filmada na metade do perfil (1 m de comprimento x 1 m de profundidade). Com a retirada desses monolitos e da outra metade da parede da trincheira (0,2 m de espessura), obteve-se um novo perfil a 0,6 m de distância das plantas. Este procedimento se repetiu até que se chegasse a distância de 0,2 m à linha de plantas. Nesse perfil, procedeu-se apenas a filmagem das raízes. Para cada cultivar,

**Figura 1.** Esquema representativo (vista de frente) da trincheira e da coleta de dados pelos dois métodos de análise de raízes utilizados, na área experimental de aspargo no Projeto de Irrigação de Bebedouro. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.**Figura 2.** Esquema representativo (vista de cima) da trincheira e da coleta de dados pelos dois métodos de análise de raízes utilizados, na área experimental de aspargo no Projeto de Irrigação de Bebedouro. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

foram analisados os perfis de 0,8; 0,6; 0,4 e 0,2 m de distância da planta, sendo coletadas 200 imagens e 75 monolitos. Os esquemas representativos da coleta de imagens e de monolitos são apresentados nas Figuras. 1 e 2.

As raízes foram separadas dos monolitos por peneiramento no campo,

e em laboratório, foram lavadas, separadas em intervalos de diâmetro (*d*) (*d* ≤ 2 mm, 2 < *d* ≤ 5 mm, 5 < *d* ≤ 10 mm) e secas em estufa a 65°C para a determinação da massa seca (g).

Para a estimativa do comprimento radicular em cada monolito, as raízes foram colocadas contra um fundo pla-

Tabela 3. Características físicas do solo da área de produção comercial no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, cultivado com aspargo irrigado por aspersão convencional. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Profundidade m	Areia	Silte kg ⁻¹	Argila	Densidade global kg dm ⁻³	Umidade 0,033 MPa	Umidade 1,5 Mpa
					g kg ⁻¹	
0-0,2	800	70	130	1,51	80,9	42,2
0,2-0,4	700	100	200	1,44	103,1	58,3
0,4-0,6	690	110	200	1,42	125,9	60,7
0,6-0,8	670	120	210	1,38	131,1	66,6
0,8-1,0	200	540	260	1,41	167,6	85,5

Tabela 4. Características químicas do solo da área de produção comercial no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, cultivado com aspargo irrigado por aspersão convencional. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Prof. m	pH H ₂ O	C.E. dSm ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H+Al	C.T.C.	Al ³⁺	V %	M.O. g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹
			cmol _c kg ⁻¹									
0-0,2	6,3	0,37	2,0	0,8	0,02	3,30	0,33	6,45	3,40	90	9,8	57
0,2-0,4	6,6	0,26	1,9	0,8	0,03	2,75	0,33	5,81	3,30	90	5,6	7
0,4-0,6	7,0	0,20	2,0	0,5	0,02	2,85	0,00	5,37	2,75	100	3,9	7
0,6-0,8	6,9	0,20	1,7	0,8	0,03	2,85	0,17	5,55	2,85	94	-	-
0,8-1,0	6,8	0,24	1,6	0,9	0,04	0,14	0,17	2,85	2,85	94	-	-

C.E.:condutividade elétrica do extrato saturado a 25° C m.o.: matéria orgânica = %C x 1,725

no de área conhecida (0,2 x 0,2 m) e cor contrastante, e divididas em tantas partes quanto necessárias para a aquisição de imagens com câmera de vídeo. Os valores de comprimento de raiz encontrados para cada monolito foram totalizados e divididos pelo volume de solo (8.000 cm³), para a determinação da densidade de comprimento de raiz (cm.cm⁻³).

Na área de produção comercial, em setembro de 1997, analisou-se a distribuição radicular da cultivar de aspargo New Jersey 220, plantada em dezembro de 1993 em um espaçamento de 2,0 x 0,3 m, irrigada por aspersão convencional semi-fixo, com aplicação diária de 7,2 mm de água. Nessa área, utilizou-se apenas o método do perfil de solo auxiliado pela análise de imagens digitais, em uma trincheira com 1 m de profundidade e 1 m de comprimento, e entre duas linhas de plantas. As imagens foram obtidas em dois perfis de solo, a 0,4 m de distância perpendicular à linha de plantas, um em cada lado da trincheira. O preparo do perfil para a filmagem foi o mesmo descrito anteriormente para a área experimental. Os atributos físicos e químicos do solo (Tabelas

3 e 4) foram determinados em amostras deformadas de solo, segundo Embrapa (1997).

As imagens obtidas em campo (área experimental e área de produção comercial) e em laboratório foram digitalizadas por meio de uma placa digitalizadora (resolução de 640 x 480 pixels) instalada em um microcomputador. As imagens foram armazenadas em disquetes como arquivos BMP e, posteriormente, analisadas pelo Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (SIARCS 3.0). Em cada imagem, pela diferença de cor entre os pixels, foram selecionados os que representavam o sistema radicular, determinando-se sua área (cm²), tendo como medida de referência as dimensões da área de solo ou de fundo com cor contrastante (0,2 x 0,2 m). Posteriormente, procedeu-se à “esqueletização”, onde toda a extensão das raízes era representada por uma linha com largura de 1 pixel, e à medida do comprimento (cm).

Integrando-se os valores de massa radicular em cada monolito, determinou-se a distribuição percentual na direção vertical (profundidade) e horizon-

tal (distância à linha de plantas), em relação ao total encontrado em todo o volume de solo (0,6 m³) analisado pelo método do monolito. Os resultados de área e comprimento de cada imagem analisada, em todo o comprimento da trincheira (2 m na área experimental e 1 m em cada lado da trincheira na área de produção comercial), também foram somados para o conhecimento da distribuição percentual nas camadas de solo, em relação ao total encontrado em cada perfil de 1 m de profundidade. O diâmetro das raízes (mm) expostas em cada área filmada no campo (0,2 x 0,2 m) foi estimado por meio da relação área/comprimento, e o valor médio em todo o perfil de solo foi obtido (Bassoi *et al.*, 1999). Para a área experimental, efetuou-se a comparação desse valor médio com a distribuição percentual das raízes classificadas nos intervalos de diâmetro.

As médias de área e comprimento de raízes da área experimental e de produção comercial, obtidos em cada área de 0,2 x 0,2 m filmada no perfil do solo, e as médias de densidade de comprimento de raízes da área experimental, determinados em cada monolito, foram

Tabela 5. Distribuição percentual da massa seca radicular das cv. de aspargo New Jersey 220 e UC 157 F1, em função da profundidade do solo, na área experimental no Projeto de Irrigação de Bebedouro. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Prof. (m)	Perfil de solo (m)							
	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,2-0,8	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,2-0,8
	New Jersey 220			%	UC 157 F1			
0-0,2	71,3	64,6	53,7	68,2	44,2	32,9	29,4	40,4
0,2-0,4	23,6	32,3	38,5	27,0	38,9	61,9	48,7	44,3
0,4-0,6	0,4	3,1	5,3	1,5	1,3	2,6	14,6	3,0
0,6-0,8	0,1	0	2,5	0,2	15,5	2,3	5,6	11,9
0,8-1,0	4,7	0	0	0,3	0,2	0,4	1,6	0,4

Tabela 6. Distribuição percentual da massa seca radicular das cv. de aspargo New Jersey 220 e UC 157 F1, em função do perfil de solo, na área experimental no Projeto de Irrigação de Bebedouro. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Prof. (m)	Perfil de solo (m)					
	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8
	New Jersey 220			%	UC 157 F1	
0-0,2	68,4	26,4	5,3	76,6	15,2	8,2
0,2-0,4	57,2	33,3	9,6	61,5	26,1	12,5
0,4-0,6	17,8	58,3	23,9	29,0	16,2	54,8
0,6-0,8	16,7	0	83,3	91,0	3,6	5,4
0,8-1,0	100	0	0	31,5	18,5	50,0
0-1,0	65,4	27,8	6,7	70,0	18,7	11,3

comparadas pelo teste t, na direção vertical e horizontal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área experimental, observou-se pelo método do monolito que a massa radicular diminuiu à medida que se aumentou a distância em relação à linha de plantas, em todo o perfil de solo de 1 m de comprimento e 1 m de profundidade. Nos monolitos coletados entre os perfis de 0,2-0,4 ; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m de distância à linha de plantas, a quantidade de massa seca radicular foi de, respectivamente, 194,0; 82,5 e 19,9 g para a cv. New Jersey 220, e de 103,0; 27,5 e 16,7 g para a cv. UC 157 F1.

Na direção vertical, 95,2% (cv. New Jersey 220) e 84,7% (cv. UC 157 F1) da massa seca total de raízes estiveram presentes nas profundidades de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m (Tabela 5), enquanto que na direção horizontal, 93,2% (cv. New Jersey 220) e 88,7% (cv. UC 157 F1) esteve presente nos perfis de 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m à linha de plantas (Tabela 6). A variação observada em ambas as direções são uma das maiores fontes de

variação na distribuição de raízes (Atkinson, 1989).

Pela análise das imagens, na área experimental, a maior parte do sistema radicular de ambas as cultivares esteve presente até 0,2-0,4 m de profundidade, com uma redução à medida que se aumentou a profundidade do solo, em todos os perfis analisados. Entretanto, a cv. UC 157 F1 apresentou uma maior presença na camada 0,4-0,6 m em relação à cv. New Jersey 220. Foi muito pequena a presença de raízes a 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade. Na área de produção comercial, notou-se uma distribuição mais homogênea das raízes da cv. New Jersey 220 até a camada 0,4-0,6 m de profundidade, com uma redução gradual até a camada de 0,8-1,0 m (Tabela 7).

A medida da massa seca radicular é relativamente fácil de ser obtida, mas fornece pouca informação, enquanto que a área da superfície é de difícil interpretação. Apesar das raízes finas estarem mais envolvidas no processo de absorção, existem evidências que as raízes suberizadas podem absorver água. Devido a essa incerteza do diâmetro apro-

priado, o comprimento de raiz por volume de solo, ou densidade de comprimento de raiz, tem sido usado para caracterizar a presença de raízes no solo (Kleper, 1992).

Na área experimental, as médias da área e do comprimento de raízes, estimadas no método do perfil, e da densidade de comprimento de raízes, estimada pelo método do monolito, foram superiores nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, enquanto que na área de produção comercial, analisada somente pelo método do perfil, os maiores valores ocorreram na profundidade de 0,4-0,6 m (Tabela 8). Houve correspondência com as maiores porcentagens de massa seca (Tabela 5) e de área e comprimento de raiz até a profundidade de 0,2-0,4 m na área experimental, e com as maiores porcentagens de área e comprimento até a profundidade de 0,4-0,6 m na área comercial (Tabela 7).

Em relação à distância à linha de plantas, analisada somente na área experimental, as médias de área e comprimento de raízes e de densidade de comprimento diminuíram à medida que se afastou das plantas. Os valores deter-

Tabela 7. Distribuição percentual dos parâmetros área e comprimento das raízes das cv. de aspargo New Jersey 220 e UC 157 F1, em função da profundidade do solo, na área experimental no Projeto de Irrigação de Bebedouro, e na área de produção comercial no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Prof. (m)	Perfil de solo (m)									
	0,2	0,4	0,6	0,8	0,4*	0,2	0,4	0,6	0,8	0,4*
	Área				%		Comprimento			
New Jersey 220										
0-0,2	58,1	54,4	50,3	63,9	23,7	55,4	50,7	52,4	71,1	22,3
0,2-0,4	39,8	44,7	41,2	26,9	20,8	41,7	48,4	37,1	20,5	21,2
0,4-0,6	1,6	0,8	7,9	6,9	30,6	2,1	0,9	9,8	6,6	30,0
0,6-0,8	0,3	0,1	0,5	2,3	18,3	0,4	0,04	0,7	1,8	19,4
0,8-1,0	0,3	0	0	0	6,6	0,4	0	0	0	7,0
UC 157 F1										
0-0,2	52,9	32,8	26,9	11,2		52,2	33,0	25,1	15,9	
0,2-0,4	44,9	49,2	38,9	49,4		45,2	47,4	39,3	46,3	
0,4-0,6	2,2	18,0	32,8	11,5		2,6	19,6	34,4	12,8	
0,6-0,8	0	0	1,4	21,8		0	0	1,1	19,0	
0,8-1,0	0	0	0	6,1		0	0	0	6,0	

* área comercial, analisada somente para a cv. New Jersey 220 a 0,4 m de distância da linha de plantas

Tabela 8. Médias de área e comprimento de raízes no perfil do solo, e da densidade de comprimento de raízes no monolito, em função da profundidade do solo, para as cv. New Jersey 220 e UC 157 F1, na área experimental no Projeto de Irrigação de Bebedouro e na área de produção comercial no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Prof. (m)	New Jersey 220 Área experimental			UC 157 F1 Área experimental			New Jersey 220 Área comercial	
	Área (cm ²)	Comprim. (cm)	Densidade (cm.cm ⁻³)	Área (cm ²)	Comprim. (cm)	Densidade (cm.cm ⁻³)	Área (cm ²)	Comprim. (cm)
0-0,2	16,87 a	63,16 a	0,099 a	11,69 a	47,42 a	0,033 a	10,35 a,b	42,85 a,b
0,2-0,4	12,33 b	49,28 b	0,037 b	12,82 a	51,43 a	0,029 a	9,08 b	40,67 b
0,4-0,6	0,69 c	3,42 c	0,0043 c	2,88 b	12,73 b	0,0033 b	13,35 a	57,68 a
0,6-0,8	0,10 d	0,44 d	0,00093 c	0,49 c	1,59 c	0,0073 b	7,98 b	37,31 b
0,8-1,0	0,053d	0,24 d	0,0040 c	0,13 c	0,45 c	0,00094 c	2,90 c	13,45 c

Médias seguidas pela mesma letra em um mesma coluna não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade

minados no perfil de solo diferiram entre si, enquanto que para os valores determinados no volume de solo compreendido entre dois perfis (monolito), a diferença foi significativa entre todos na cv. New Jersey 220, e somente para 0,2-0,4 m na cv. UC 157 F1 (Tabela 9). Esse comportamento está em concordância com a distribuição percentual de massa seca de raízes em função da distância do perfil do solo (Tabela 6).

O diâmetro das raízes de aspargo, tanto da área experimental como da área comercial, estimado pela relação entre a área e o comprimento das raízes (Tabela 10) encontram-se dentro do intervalo $2 < d \leq 5$ mm. Alguns valores não apresentam desvios-padrão, pois as

raízes foram observadas em apenas uma área (0,2 x 0,2 m) da respectiva profundidade, ao longo de todo o comprimento da trincheira. Pelo método do monolito, para os perfis de 0,2-0,4, 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m, as raízes com $2 < d \leq 5$ mm corresponderam a 89,0, 86,8 e 83,6% do total na cv. New Jersey 220, e 84,2, 81,2 e 71,8% na cv. UC 157 F1, respectivamente, enquanto que as com $d \leq 2$ mm apresentaram menor contribuição (7,7, 11,9 e 16,4% na cv. New Jersey 220, e 15,8, 18,8 e 28,2% na cv. UC 157 F1, respectivamente). Apenas a cv. New Jersey 220 apresentou raízes entre $5 < d \leq 10$ mm (3,3% a 0,2-0,4 m e 1,3% a 0,4-0,6 m). Assim, os valores estimados pela imagem digital encontram-se

dentro dos intervalos de diâmetro onde a maior parte das raízes foi encontrada.

Drost (1999) relatou que plantas de aspargo com 2, 3 e 4 anos apresentaram, respectivamente, uma profundidade de enraizamento médio (80% do total de raízes) de 0,3, 0,4 e 0,5 m, enquanto que o valor máximo foi de 0,8, 1,0 e 1,4 m, para as raízes de reserva. Para as raízes fibrosas, os valores médios foram 0,6, 0,6 e 0,7 m, e os máximos, 1,0, 1,2 e 1,3 m. A maior presença de raízes ocorreu próximo à coroa do aspargo, a qual decresceu em profundidade e com a distância às plantas. Esses resultados apresentam similariedade com os apresentados nesse trabalho.

Tabela 9. Médias de área e comprimento de raízes no perfil do solo, e da densidade de comprimento de raízes no monolito, em função da distância do perfil à linha de plantas, para as cv. New Jersey 220 e UC 157 F1, na área experimental do Projeto de Irrigação de Bebedouro, Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Imagem	New Jersey 220		UC 157 F1		Monolito	New Jersey 220	UC 157 F1
Perfil (m)	Área (cm ²)	Comprim. (cm)	Área (cm ²)	Comprim. (cm)	Distância (m)	Densidade (cm.cm ⁻³)	Densidade (cm.cm ⁻³)
0,2	12,52 a	46,45 a	12,46 a	50,68 a	0,2-0,4	0,053 a	0,028 a
0,4	7,67 b	30,20 b	5,94 b	24,50 b	0,4-0,6	0,027 b	0,0098 b
0,6	2,96 c	12,31 c	2,35 c	9,62 c	0,6-0,8	0,0074 c	0,0062 b
0,8	0,89 d	4,26 d	1,66 c	6,09 c			

médias seguidas pela mesma letra em um mesma coluna não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 10. Estimativa do diâmetro das raízes pela análise de imagem digital, das cv. de aspargo New Jersey 220 e UC 157 F1, na área experimental no Projeto de Irrigação de Bebedouro, e na área de produção comercial no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 1997.

Prof. (m)	Perfil de solo (m)								
	0,2		0,4		New Jersey 220* comerc.	0,6		0,8	
	New Jersey 220	UC 157 F1	New Jersey 220	UC 157 F1		New Jersey 220	UC 157 F1	New Jersey 220	UC 157 F1
0-0,2	2,8 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,7 ± 0,3	2,4 ± 0,2	2,4 ± 0,1	2,4 ± 0,4	2,9 ± 0,9	2,0 ± 0,7	1,9 ± 0,2
0,2-0,4	2,5 ± 0,3	2,4 ± 0,2	2,4 ± 0,3	2,4 ± 0,4	2,1 ± 0,3	2,7 ± 0,5	2,5 ± 0,7	2,7 ± 0,9	4,8 ± 3,6
0,4-0,6	2,2 ± 0,2	2,5 ± 1,2	2,2 ± 0,4	2,3 ± 0,3	2,2 ± 0,3	2,2 ± 0,4	2,7 ± 0,8	2,6	2,7 ± 0,7
0,6-0,8	2,6 ± 0,7	-	4,0	-	2,2 ± 0,2	2,0	3,2 ± 1,5	2,8	3,1
0,8-1,0	2,2 ± 0,2	-	-	-	2,2 ± 0,3	-	-	-	2,8

- não foram observadas raízes

* analisado apenas no perfil 0,4 m

A profundidade de 0,6 m pode ser considerada como a profundidade efetiva do sistema radicular do aspargo, podendo ser levada em consideração na análise da eficiência de aplicação de água, definida pela relação entre a quantidade de água armazenada na zona radicular durante a irrigação e a quantidade de água aplicada, e da eficiência de armazenamento de água, definida pela relação entre a quantidade de água armazenada na zona radicular e a quantidade de água requerida na zona radicular antes da irrigação (Hansen *et al.*, 1980).

Os resultados evidenciaram que a maior parte do sistema radicular do aspargo cv. New Jersey 220 e cv. UC 157 F1, irrigados por aspersão convencional e em solos de textura arenosa em áreas irrigadas de Petrolina-PE, apresentou maior presença de raízes até a camada de solo 0,4-0,6 m de profundidade (direção vertical), e até a distância

perpendicular à linha de plantas de 0,6 m (direção horizontal). A comparação de médias dos parâmetros área, comprimento e densidade de comprimento de raízes mostraram resultados similares entre si e também com a distribuição percentual de massa seca, área e comprimento de raízes, nas profundidades de solo e distâncias à linha de plantas analisadas. As estimativas do diâmetro de raiz pela análise de imagem estiveram dentro do intervalo de diâmetro com maior presença do sistema radicular.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (projeto 523559/96-8), do Banco do Nordeste do Brasil e do International Foundation for Science (projeto C/2748-1), da Suécia, para a realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ATKINSON, D. Root growth and activity: current performance and future potential. In: *Roots and the soil environment*. Wellesbourne: The Association of Applied Biologists, 1989. p.1-14.
- ATKINSON, D. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Horticultural Reviews*, New York, v. 2, p. 424-490, 1980.
- BASSOI, L.H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: II- Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 541- 548, 1994.
- BASSOI, L.H.; JORGE, L.A.; CRESTANA, S. Root distribution analysis of irrigated grapevines in northeastern Brazil by digital image processing. In: *WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE*, 16., Montpellier. 1998. *Proceedings...*, ISSS, 1998. CD ROM.
- BASSOI, L.H.; SILVA, J.A.M.; ALENCAR, C.M.; RAMOS, C.M.R.; JORGE, L.A.C.; HOPMANS, J.W. Digital image analysis of root distribution towards improved irrigation water and soil management. In: *AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING ANNUAL INTERNATIONAL MEETING*. Toronto. 1999. 5 p. (ASAE paper 992225).

- BOHM, W. *Methods of studying root systems*. New York: Springer - Verlag, 1979. 194 p.
- CANNEL, G.H.; TAKATORI, F.H. Irrigation-nitrogen studies in asparagus and measurement of soil moisture changes by the neutron method. *Soil Science Society of American Journal*, v. 34, n. 3, p. 501-506, 1970.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 18, n. 3, p. 365-371, 1994.
- DELGADO DE LA FLOR, F.B.L.; MONTAUBAN, R.; HURTADO P.F. *Manual de cultivo del espárrago*. Lima: Instituto de Comercio Exterior, 1987. 134 p.
- D'OLIVEIRA, L.O.B. *A cultura do aspargo irrigado na região do Submédio São Francisco*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1992. 22 p. (EMBRAPA-CPATSA, Circular Técnica, 26).
- D'OLIVEIRA, L.O.B.; FLORI, J.E.; RESENDE, G.M. *Coleção de germoplasma de aspargo (Asparagus officinalis L.) no Submédio São Francisco*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1998. 3 p. (EMBRAPA-CPATSA, Comunicado Técnico, 74).
- DROST, D.T. Irrigation effects on asparagus root distribution. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v. 479, p. 283-288, 1999.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I - Comparação de metodologias. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 513 - 518, 1994.
- FILGUEIRA, F.A. *Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. 357 p.
- GANIZA SOLA, A.; BENITO CALVO, A.; SAEZ GARCIA - FALCES, R.; SANTOS ARRIAZU, A. *Sistemas de cultivo en el espárrago*. In: JORNADAS TÉCNICAS DEL ESPARRAGO, 2., 1998, Pamplona. *Anais...*Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion, 1998, tomo 1, p. 115-137.
- GARDÉ, A.A.A.; GARDÉ, N.V.P.M. *Culturas horticolas*. Lisboa: Livraria Clássica Editora, 1964. 493 p.
- HANSEN, V.E.; ISRAELSEN, O.W.; STRINGHAM, G.E. *Irrigation principles and practices*. 4. ed., New York: John Wiley, 1980. 417 p.
- HARTMANN, H.D.; HERMANN, G.; ALTRINGER, R. Evaluation of nutrient status of asparagus by leaf and root analyses. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v. 271, p. 433-442, 1990.
- KLEPPER, B. Roots: past, present and future. In: ROOTS OF PLANT NUTRITION, 1992, Champaign. *Proceedings...* Champaign: Potash & Phosphate Institute, 1992. p. 7-18.
- KOPKE, U. Methods for studying root growth. In: THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRAZILIAN AGRICULTURE, Londrina, 1980. *Proceedings...* Londrina, IAPAR, 1981. p. 303-318.
- MARTIN, S.; HARTMANN, H.D. The content and distribution of the carbohydrates in asparagus. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v. 271, p. 443-449, 1990.
- OLIVEIRA, E.A.; OLIVEIRA, J.J.; MORAES, E.C.; MAGNANI, M.; FEHN, L.M.; FELICIANO, A. *A cultura do aspargo*. Pelotas: EMBRAPA-UEPAE, 1981. 48p. (EMBRAPA-UEPAE de Pelotas, Circular Técnica, 5).
- REIJMERINK, A. Microstructure, soil strength and root development of asparagus on loamy sands in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, v. 21, n. 1, p. 24-43, 1973.