DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA LARANJEIRA ‘FOLHA MURCHA’ ENXERTADA SOBRE O LIMOEIRO ‘CRAVO’ EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM RESPOSTA À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

GABRIELLA ALMEIDA NOGUEIRA LINHARES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO – 2014

DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA LARANJEIRA ‘FOLHA MURCHA’ ENXERTADA SOBRE O LIMOEIRO ‘CRAVO’ EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM RESPOSTA À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

GABRIELLA ALMEIDA NOGUEIRA LINHARES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Orientador: D.Sc. Cláudio Roberto Marciano

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA** / **UENF** 097/2014

Linhares, Gabriella Almeida Nogueira

Distribuição do sistema radicular da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo' em um Argissolo Vermelho-Amarelo em resposta a irrigação localizada / Gabriella Almeida Nogueira Linhares. – 2014.
76 f. : il.

Orientador: Cláudio Roberto Marciano
Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014.
Bibliografia: f. 67 – 76.

1. *Citrus sinensis* 2. Irrigação por microaspersão 3. Estoque radicular 4. Método do trado 5. Fruticultura tropical I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

Cutter L755d
–

DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA LARANJEIRA ‘FOLHA MURCHA’ ENXERTADA SOBRE O LIMOEIRO ‘CRAVO’ EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM RESPOSTA À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

GABRIELLA ALMEIDA NOGUEIRA LINHARES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Aprovada em 31 de julho de 2014.

Comissão Examinadora:

Prof[a] Cláudia Sales Marinho (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof[a] Luciana Aparecida Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof. Ernany Santos Costa (D.Sc., Produção Vegetal) - IFF

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF (Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, iluminando todos os meus caminhos percorridos e me dando muita força, sabedoria e saúde para superar todos os obstáculos;

Ao meu príncipe e amado filho, Pedro Henrique, que nasceu no transcorrer do mestrado de Produção Vegetal, me mostrando que não existem barreiras que não possam ser vencidas;

Ao meu segundo filho, João Miguel, que ainda se encontra em meu ventre;

Ao meu marido Rafael, por todo incentivo, todo amor, toda dedicação e toda paciência;

Aos meus pais Edmar e Sirene, por sempre me incentivar nos estudos, mostrando que com coragem e determinação, é possível a aquisição de uma grande conquista, que, neste caso, foi o título de Mestre em Produção Vegetal;

À minha irmã Amanda, que sempre me incentivou a ingressar no laboratório de Solos. Muito obrigada pela amizade, pelos momentos de felicidades, de lazer, por ser tão presente em minha vida, pelos anos de harmonia, de muitas alegrias que já vivemos e que viveremos, pela compreensão e pelas sugestões à realização deste trabalho;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de realização desse curso;

À CAPES, pela bolsa de Mestrado concedida, possibilitando a ampliação dos meus conhecimentos;

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense, pela abertura para realização dos trabalhos de campo;

Ao meu orientador, Professor Cláudio Roberto Marciano, pela orientação, pela confiança, pela amizade, pela compreensão, pela força e pelo incentivo;

Aos colegas de laboratório por todo incentivo e apoio. Em especial, ao técnico Ederaldo Azeredo da Silva, por toda ajuda que me forneceu, por me ouvir nos momentos mais difíceis enfrentados durante o mestrado;

Aos amigos Reginaldo, Dâmaris, Lidiane, Jéfferson Rangel, Jéssica Sant'Ana, Karina Soares, pelo companheirismo, pelo apoio e pela amizade;

Aos colegas e companheiros de turma e às demais pessoas que de alguma forma contribuíram para esse trabalho, que considero mais uma vitória em minha vida.

SUMÁRIO

Pág

SUMÁRIO..... iv
RESUMO..... vi
ABSTRACT..... viii
1 INTRODUÇÃO..... 1
2 REVISÃO DE LITERATURA..... 4
2.1 Citricultura no Brasil..... 4
2.2 Citricultura no Estado do Rio de Janeiro..... 5
2.3 Laranjeira 'Folha Murcha'..... 7
2.3.1 Classificação e características da planta..... 7
2.3.2 Porta-enxerto, produção e produtividade da laranjeira 'Folha Murcha'..... 8
2.4 Sistema radicular e distribuição no solo..... 10
2.5 Contribuição do sistema radicular para o sequestro de C..... 13
2.6 Raízes x disponibilidade e absorção de água..... 14
2.7 Métodos de estudo do sistema radicular..... 16
2.8 Quantificação de raízes via análise de imagens por software..... 19
2.9 Qualidade física do solo para o cultivo de citros no Brasil..... 20
3 MATERIAL E MÉTODOS..... 25
3.1 Caracterização da área experimental..... 25
3.2 Delineamento experimental e tratamentos..... 27
3.3 Avaliação do sistema radicular da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada

sobre o limoeiro ‘Cravo’..... 27
3.3.1 Coleta das raízes..... 27
3.3.2 Separação e preparo das raízes da laranjeira ‘Folha Murcha’..... 29
3.3.3 Digitalização e análise das imagens de raiz..... 29
3.3.4 Massa seca das amostras de raiz..... 30
3.3.5 Definição das variáveis radiculares para análise..... 30
3.4 Análise estatística..... 35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 36
4.1 Massa, volume, área superficial, comprimento e diâmetro radicular..... 36
4.2 Estoque de biomassa do sistema radicular..... 60
4.2.1 Volume total de solo explorado pela planta..... 60
4.2.2 Volume de solo explorado pela planta em cada quadrante..... 61
4.3 Profundidade e distância efetivas do sistema radicular..... 63
5 RESUMO E CONCLUSÕES..... 66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 67

RESUMO

LINHARES, Gabriella Almeida Nogueira; Engenheira Agrônoma; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Julho de 2014. **Distribuição do sistema radicular da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo' em um Argissolo Vermelho-Amarelo em resposta à irrigação localizada**. Orientador: Cláudio Roberto Marciano.

O estudo da distribuição do sistema radicular das plantas é importante para a determinação da melhor localização de adubos, na escolha de locais apropriados para a instalação de instrumentos como o tensiômetro, ou, ainda, do melhor posicionamento de sistemas de irrigação localizada em relação ao tronco. O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição do sistema radicular da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo', cultivada em um Argissolo Vermelho-Amarelo, no Noroeste Fluminense, associando-a à aplicação de lâminas de água por microaspersão. O trabalho foi conduzido em 2012 e 2013 no Setor de Fruticultura do Instituto Federal Fluminense – Campus Bom Jesus do Itabapoana, com coordenadas geográficas 21º08'S e 41º40'W. Nessa área encontra-se o cultivo da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo', em espaçamento de 5 m x 5 m, implantado no ano de 2006. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, sendo implantados três tratamentos, um controle sem irrigação e dois irrigados por microaspersão com aplicação de lâminas de água correspondentes a 64% e 100% da evapotranspiração potencial. A unidade experimental contituiu-se de três plantas subsequentes em uma mesma linha, sendo o método do trado utilizado

para o estudo da distribuição do sistema radicular da planta central de cada parcela. Para cada planta avaliada foram definidos nove pontos de coleta, sendo três no quadrante D2 (na direção da linha de plantio), três no quadrante D3 (na direção da entrelinha à montante – ou declive acima) e três no quadrante D1 (na direção da entrelinha à jusante – ou declive abaixo). Para cada direção os pontos foram demarcados a 0,5, 1,5 e 2,5 m de distância do tronco, sendo esses representativos de três seções subsequentes, S1, S2 e S3, respectivamente. Em cada ponto de coleta as amostras (solo + raíz) foram obtidas até 1 m de profundidade, sendo uma a cada camada de 20 cm de espessura, totalizando cinco amostras por ponto de coleta. Foram coletadas 45 amostras por planta e um total de 405 amostras para as nove plantas avaliadas. Separadas e quantificadas as raízes de cada amostra, por pesagem e por análise computacional de imagens digitalizadas (utilizando o scanner EPSON Expression 10000XL e o software "WinRhizo"), foi realizada a quantificação da biomassa total de raízes (ou estoque radicular) de cada planta, além de cálculos para a obtenção de valores de profundidade efetiva e distância efetiva. As variáveis profundidade efetiva e distância efetiva foram calculadas também a partir do volume de raízes grossas e finas. Todos os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste de Tukey a 5% de significância, podendo-se concluir que: (i) as lâminas de irrigação não influenciaram no estoque total de raízes, de raízes grossas (diâmetro de 2 a 8 mm) e de finas (diâmetro até 2 mm); (ii) a profundidade e a distância radicular efetivas não foram influenciadas pela lâmina de irrigação e pelo quadrante de coleta; (iii) a profundidade e distância efetivas calculadas apenas para as raízes finas (diâmetro até 2 mm) foram afetadas por ambos os fatores lâmina de irrigação e quadrante de coleta; (iv) com relação às variáveis de densidade radicular (massa, volume, superfície e comprimento por unidade de volume de solo), verificou-se efeito significativo de todos os fatores considerados na análise (irrigação, profundidade, distância do tronco e quadrante de coleta), ocorrendo redução da densidade radicular quanto maior a profundidade e distância do tronco.

ABSTRACT

LINHARES, Gabriella Almeida Nogueira; Agronomist; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. July 2014. Root system distribution of ‘Folha Murcha’ orange budded on 'Rangpur' lime in an Hapludult in response to localized irrigation. Advisor: Cláudio Roberto Marciano.

The study of plants root system distribution is important for determining the best location of fertilizers, for guiding the choice of suitable locations for instruments installation, as tensiometer, or even, the best positioning of localized irrigation systems compared to the trunk. The objective was to evaluate root system distribution of ‘Folha Murcha’ orange budded on 'Rangpur' lime, grown in an Hapludult, in northwest of Rio de Janeiro state, associating it with water depth applying by micro-sprinkler irrigation. The work was conducted in 2012 and 2013 in the Fruit Crop Sector of the Federal Fluminense Institute – Campus Bom Jesus do Itabapoana, with geographic coordinates: 21°08 ' S and 41° 40 ' W. In this area is the cultivation of ‘Folha Murcha’ orange budded on 'Rangpur' lime, at 5 m x 5 m spacing, planted in 2006. We used three treatments were deployed in a randomized block experimental design with three replications, being a control without irrigation and two irrigated by micro-sprinklers with water slides application corresponding to 64% and 100% of the potential evapotranspiration. The experimental unit was constituted of three subsequent plants in a similar row, auger method was used in the study of root system distribution of the central plant

of each parcel. For each evaluated plant nine collection points were defined, with three in the quadrant D2 (in the crop row direction), three in the quadrant D3 (between rows upstream - slope above) and three in the quadrant D1 (between rows downstream - slope below). For each direction, the points were demarcated at 0.5, 1.5 and 2.5 m away from the trunk, these being representative of three subsequent sections, S1, S2 and S3, respectively. In each collection point, samples (soil + root) were obtained up to 1 m depth, being one at every 20 cm thick layer, totaling five samples per collection point. 45 samples per plant and a total of 405 samples for the nine plants were evaluated. Separated and quantified the roots of each sample by weighing and by computer analysis of digitized images using EPSON Expression 10000XL Scanner and the software "WinRhizo", the quantification of the root total biomass (or root stock) of each plant was carried out, and calculations for obtaining effective values of depth and distance effectively. The effective depth and distance variables were also calculated from the volume of thick and fine roots. All data were subjected to analysis of variance with application of the Tukey test at 5%, may be concluded that: (i) the irrigation depth did not influence in the total stock of roots, thick roots (diameter 2-8 mm) and fine roots (≤ 2 mm of diameter); (ii) the effective root depth and distance were not influenced by irrigation depth and the quadrant collect; (iii) the effective depth and distance calculated only for fine roots (≤ 2 mm of diameter) were affected by both factors irrigation depth and quadrant collect; (iv) with respect to the variables of root density (mass, volume, surface and length per unit volume of soil), there was a significant effect of all factors considered in the analysis (irrigation, depth, distance from the trunk and quadrant collect), occurring reduction in root density, with increasing depth and distance from the trunk.

1 INTRODUÇÃO

As primeiras plantas de citros chegaram ao Brasil em meados do ano de 1530 e encontraram no país condições favoráveis para seu desenvolvimento, alcançando assim todo o território brasileiro. As plantas cítricas são de clima tropical e subtropical, podendo ser cultivadas entre as faixas 44º Norte e Sul, porém as principais áreas de destaque que abrangem essa cultura se encontram nas latitudes superiores a 20º Norte e Sul, situando-se, entre essas o Brasil (Donadio et al., 2005; Koller, 1994).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), a safra nacional de laranja estimada para 2014 é de 16.452.150 t (403,2 milhões de caixas de 40,8 kg), safra 1,0% superior à produção obtida em 2013. No Estado de São Paulo, o maior produtor do país, com 71,9% de participação na produção nacional, em 2014 apresenta-se uma produção de 11.830.000 t (290,0 milhões de caixas). No Estado do Rio de Janeiro, em 2014 a área cultivada com laranja corresponde a 5.831 ha, com uma produção de 88.774 t, com um rendimento médio de 15.232 quilogramas por hectare.

A laranjeira doce (*Citrus sinensis* L. Osbeck) 'Folha Murcha' é uma provável mutação da 'Valência', originária do Estado do Rio de Janeiro, e caracterizada pelo enrolamento permanente das folhas, maturação tardia dos frutos, porte mediano da copa e resistência à seca (Stuchi e Donadio, 2000).

Segundo Amaral (2013) e Moraes (2013), a laranjeira 'Folha Murcha' tem sido utilizada no Noroeste Fluminense, principalmente, por sua boa produtividade,

maturação tardia e durabilidade do fruto na planta (após a maturação, pode permanecer por dois meses ou mais).

De acordo com Libardi e Van Lier (1999), o sistema radicular permite que a planta utilize o solo como um reservatório de água, fazendo com que possa atingir a eficiência fotossintética potencial, mesmo durante períodos sem chuva. Dessa forma, quanto mais água se encontra dentro do solo ao alcance da planta, maior será o período que a planta pode passar sem chuva, sem que isso lhe cause prejuízos em termos de crescimento.

O estudo do sistema radicular das plantas a campo possibilita conhecer a relação entre o desenvolvimento radicular e os fatores que o influenciam, como o manejo físico e químico do solo, fatores genéticos, irrigação, entre outros (Neves et al., 1999). Condições físicas adequadas às raízes geralmente são associadas à baixa resistência mecânica e adequada relação entre aeração e retenção de água.

Técnicas destrutivas de estudo do sistema radicular consistem no uso do trado, anel volumétrico, monólito, anéis de crescimento, escavação do sistema radicular ou abertura de trincheiras. Essas técnicas permitem obter informações sobre a quantidade e forma do sistema radicular, já que a amostra extraída explana a real distribuição das raízes no volume de solo, sendo essas consideradas padrões para a calibração dos demais métodos de análises qualitativas (Johnson et al., 2001).

Segundo Kolesnikov (1971), o método do trado é o mais simples, barato, podendo ser usado para estudos teóricos e práticos sobre amostragem de raízes de frutíferas. O método do trado tem sido empregado frequentemente em estudos de raízes de árvores frutíferas ou não, permitindo comparações da posição das raízes, com relativa rapidez, sem as distorções causadas pelo método da escavação total.

Estudos sobre a distribuição do sistema radicular dos citros são necessários pela importância das raízes na sustentação da planta e na absorção de água e nutrientes e também para a determinação da localização de adubos e irrigação. Esse conhecimento auxilia na escolha de locais apropriados para a instalação de instrumentos, como o tensiômetro, visando ao manejo de irrigação, ou, ainda, em sistemas de irrigação localizada, permite fixar a distância adequada

a partir do tronco onde deverá ser aplicada a água, bem como a profundidade que a mesma deve atingir (Oliveira et al., 1998).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição do sistema radicular da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’, cultivada em um Argissolo Vermelho-Amarelo no Noroeste Fluminense, associando-a à aplicação localizada de água por microaspersão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Citricultura no Brasil

As plantas cítricas são originárias de regiões úmidas tropicais e subtropicais do continente asiático e foram introduzidas no Brasil quando da colonização do país, provavelmente pela Bahia (Figueiredo, 1991, citado por Sant'Anna, 2009). O cultivo de plantas cítricas no Brasil foi rapidamente disseminado, devido às condições climáticas que permitiram que as plantas vegetassem e produzissem de forma exuberante (Moreira e Moreira, 1991). Os citros compreendem um grande grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros gêneros afins (*Fortunella* e *Poncirus*) ou híbridos interespecíficos ou intergenéricos. No gênero *Citrus* destacam-se as laranjas (*Citrus sinensis*), as tangerinas (*Citrus reticulata*), as mexericas (*Citrus deliciosa*), os limões (*Citrus limon*), as limas ácidas (como o limão Tahiti - *Citrus latifolia* - e o limão Galego - *Citrus aurantifolia*) e doces (como a limeira-da-Pérsia - *Citrus limettioides*), os pomelos (*Citrus paradisi*), as cidras (*Citrus medica*), a laranja-azeda (*Citrus aurantium*) e as toranjas (*Citrus grandis*). As laranjeiras podem ser agrupadas em subtipos designados: comuns; com umbigo; sem acidez; e sanguíneas (Hodgson, 1967).

A citricultura brasileira se destaca devido à promoção do crescimento socioeconômico, contribuindo com a balança comercial nacional e, principalmente, como geradora direta e indireta de empregos na área rural.

Na agroindústria brasileira a citricultura vem se destacando, sendo grande responsável por 60% da produção mundial de suco de laranja, com o Brasil liderando as exportações do produto (MAPA, 2014). De acordo com a CONAB (2013), São Paulo é o maior produtor nacional de laranjas. Para o terceiro levantamento da safra 2013/2014, a área ocupada com laranja no Estado de São Paulo é estimada em 501,8 mil hectares, sendo a área em produção de 464,4 mil hectares, e estima-se uma produtividade média em 1,57 caixas de 40,8 kg por planta, o que corresponde a 578 caixas por hectare.

Segundo Pedrosa (2013), apesar do impacto na economia brasileira, a citricultura apresenta grande vulnerabilidade devido aos estresses abióticos, entre eles, o estresse por seca, que diminui o crescimento vegetativo, provoca abortamento de frutos jovens, redução no desenvolvimento e na qualidade interna e externa dos frutos, causando importantes perdas econômicas em pomares. Podem ocorrer também surtos de pragas e doenças ao longo dos anos, decorrentes principalmente do emprego de poucas combinações copa/porta-enxerto. Uma solução que vem sendo discutida é a ampliação da base genética de variedades de copas e porta-enxertos para o aumento da produtividade.

Para Martins (2011), o aumento da produtividade de pomares cítricos requer o planejamento e o trabalho de vários fatores e ou tecnologias. A produção e a utilização de mudas de qualidade é, sem dúvida, uma forma de garantir a produtividade e o sucesso da citricultura. Segundo Carvalho (1998), o sistema propõe a produção de mudas de citros em casa de vegetação protegida com tela antiafídeos com os porta-enxertos cultivados em tubetes, contendo substrato livre de pragas, e seu posterior transplantio para vasos maiores, onde serão conduzidos até atingirem o ponto ideal para a realização da enxertia e a formação final da muda.

2.2 Citricultura no Estado do Rio de Janeiro

Segundo Medeiros (2009), na década de 20 o cultivo da laranja começou a ser largamente disseminado na localidade de Campo Grande (zona rural da cidade do Rio de Janeiro) e em toda a Baixada Fluminense. De acordo com esse autor, o Brasil já vinha esboçando tentativas para a exportação da laranja,

entretanto apenas no final dos anos trinta a citricultura passou a fazer parte da pauta de exportação brasileira, conquistando a posição de um dos dez produtos mais importantes na exportação do país. Assim, a citricultura passou a ser um negócio que não apenas dava notoriedade à zona rural da cidade, como também resultava em uma transformação econômica, social e política na região.

Figuerêdo (2004) afirma que a primeira fase do cultivo dos laranjais ocorreu nas zonas de morros e nas encostas íngremes da Serra de Madureira, com o investimento de capitais exteriores, mas posteriormente o cultivo se alastrou na direção também das baixas colinas e planícies, onde loteadores e cultivadores drenaram com a abertura de valetas, permitindo a ocupação pelos laranjais. Esse autor acrescenta que o desenvolvimento e crescimento do cultivo da laranja encontraram na disponibilidade de capitais um fator determinante, associado ao ambiente de incentivo e apoio à citricultura.

Maia e Rodrigues (2009) relataram que, com a deflagração da Segunda Guerra Mundial, as exportações de laranja cessaram, muitas lavouras foram derrubadas, abandonadas ou mal manejadas. Além disso, a crise do combustível associada à escassez de frigoríficos fez com que o apodrecimento dos frutos ainda nas árvores se generalizasse. Esse, por sua vez, favoreceu o aparecimento da “mosca do mediterrâneo”, uma praga que derrotou completamente a produção de laranjas.

Segundo levantamento bibliográfico de Amaral (2013), mesmo com as dificuldades do cultivo no período pós-guerra, a citricultura fluminense, cultivada principalmente na Região dos Lagos, possuiu, no período de 1973 a 1974, uma área plantada de 37.148 ha.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), em 2014 a área cultivada com laranja, no Estado do Rio de Janeiro, corresponde a 5.831 ha, com uma produção de 88.774 t, com um rendimento médio de 15.232 quilogramas por hectare.

2.3 Laranjeira ‘Folha Murcha’

2.3.1 Classificação e características da planta

Os citros são pertencentes à família Rutaceae, subfamília Aurantioideae, tribo Citreae e subtribo Citrinae.

A laranjeira doce ‘Folha-Murcha’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck) é uma variedade originária do Rio de Janeiro, com frutos de ótima qualidade e maturação muito tardia, com época de colheita nos meses de novembro a março, sob as condições do Estado de São Paulo (Pio et al., 2005). Segundo Stuchi (1999), sob condições do Estado do Rio de Janeiro, a maturação dos frutos é iniciada em setembro, atingindo a faixa ideal em outubro, conservando boas características de índice de maturação até dezembro, fato esse verificado também por Amaral (2013) para o Noroeste Fluminense.

Laranjeiras ‘Folha Murcha’ enxertadas sob limoeiro ‘Cravo’ e mantidas no Banco Ativo de Germoplasma da Estação Experimental de Limeira apresentaram porte pequeno (1,80 a 2,00 m), permitindo o plantio adensado, além de apresentarem características de moderadamente vigorosas, eretas com ramos grossos e folhas verde-escuras enroladas e aromáticas, com flores pequenas e brancas (Paiva et al., 1993, citado por Resende, 2012).

A laranjeira ‘Folha Murcha’ apresenta folhas enroladas, ou retorcidas e com aspecto de murchas, que confere aparente estado de estresse hídrico às plantas dessa cultivar (Donadio et al., 1999). Segundo Donadio et al. (1995), folhas adultas apresentam comprimento de 9,08 cm, largura de 5,59 cm. Pecíolo pouco alado, com comprimento de 1,75 cm e largura de 0,51 cm.

Suas flores, brancas e perfumadas (Lorenzi et al., 2006), nascem isoladamente ou em inflorescências, e são formadas por cinco pétalas (Lorenzi et al., 2006; Swingle e Reece, 1967). Apresentam leve sinal da coroa e não apresentam resto estilar, com pedúnculo grosso e inserção reentrante. Apresentam ombro espesso, com cavidades secretoras salientes, tecido que depleciona rapidamente com a abscisão do pedúnculo. Na região mediana, a epiderme diminui de espessura, tornando-se quase sem albedo na extremidade apical. Apresentam, em média, menos de quatro sementes grandes por fruto (Paiva et al., 1993). Os frutos da ‘Folha Murcha’ são tardios, possuindo uma boa

conservação na planta. Medem em média 6,35 cm de altura, 6,48 cm de diâmetro, apresentando forma arredondada, levemente achatada, com ocorrência também de frutos oblongos. A casca é fina, levemente rugosa, de cor laranja, típica das laranjeiras doces. A polpa é fina, com eixo central compacto. O ápice do fruto é côncavo e a base, convexa (Donadio et al., 1995). O suco é de coloração amarela forte e sabor adocicado, rico em vitamina C, possuindo ainda vitaminas A e as do complexo B, além de sais minerais, principalmente cálcio, potássio, sódio, fósforo e ferro. O alto teor de sólidos solúveis totais no suco de laranja 'Folha Murcha' acrescenta valor industrial a essa cultivar (Donadio et al., 1999).

Para Vasconcelos et al. (1975), a laranjeira 'Folha Murcha' apresenta vários problemas de natureza agronômica, como a ausência de fixação de alguns caracteres fenotípicos, onde se observa com regularidade a ocorrência na planta de ramos com folhas normais, mais vigorosas do que as típicas, contrastando com uma das principais características dessa variedade, que é a presença de folhas enroladas ou retorcidas.

2.3.2 Porta-enxerto, produção e produtividade da laranjeira 'Folha Murcha'

Segundo Stenzel et al. (2005), vários aspectos em relação à qualidade dos frutos, assim como as relações de água, nutrição mineral, crescimento, produtividade, resistência ou suscetibilidade às pragas e doenças das plantas de citros são afetados pela interação do porta-enxerto com a copa e o ambiente. O porta-enxerto interfere com a transpiração e composição química das folhas da copa enxertada, conferindo fertilidade do pólen nas flores, além de interferir no desenvolvimento do fruto, devido à capacidade de fornecer água e nutrientes para a planta. O sistema radicular do porta-enxerto é responsável pela capacidade de absorção e utilização de nutrientes, tolerância à salinidade, resistência à seca e ao frio, resistência e tolerância às moléstias e pragas e resposta aos produtos de abscisão.

Stenzel et al. (2005) relataram que produções acumuladas (cinco safras) das laranjeiras 'Folha Murcha' enxertadas em limoeiro 'Cravo' (261,6 kg por planta) e laranjeira 'Caipira' (268,8 kg por planta) não diferiram entre si, mas foram significativamente superiores às enxertadas sobre tangerineira 'Cleópatra' (221,2 kg por planta) e limoeiro 'Volkameriano' (204,4 kg por planta).

Segundo Stuchi e Donadio (2000), nas condições de Bebedouro, SP, a produção acumulada (cinco safras) foi significativamente superior nas plantas de ‘Folha Murcha’ enxertadas em limoeiro ‘Volkameriano’ (270,13 kg por planta), quando comparadas àquelas em tangerineira ‘Cleópatra’, tangerineira ‘Sunki’ e limoeiro ‘Cravo’, que apresentaram produção variando de 138,55 a 163,58 kg por planta.

De acordo com Barros et al. (1998), no Estado do Rio de Janeiro, as maiores produções de ‘Folha ‘Murcha’ foram propiciadas pelos porta-enxertos limoeiro ‘Volkameriano’, limoeiro ‘Mazoe’, tangerineira ‘Sunki’ e limoeiro ‘Cravo’. O limoeiro ‘Cravo’ é um porta-enxerto muito utilizado devido à sua característica de induzir vigor e alta produtividade, sendo um dos melhores extratores de água do solo, mantendo a planta sob menor estresse hídrico.

Amaral (2013), avaliando a laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’, durante dois anos de estudos, obteve, no tratamento sem irrigação, a produção anual de 377 frutos planta^{-1} e 70,5 kg planta^{-1}, o que resulta em frutos de aproximadamente 180 g. O autor ressaltou que a determinação do tamanho final do fruto é complexa e depende de muitos fatores como: características genéticas, tipo de inflorescência, do número de flores e de frutos, dos fatores climáticos, da disponibilidade de carboidratos e hormônios.

Abrêu e Salviano (2007), realizando um experimento envolvendo três porta-enxertos para lima ácida ‘Tahiti’, verificaram que o limão ‘Cravo’, explora maior volume de solo e é capaz de transferir ao conjunto copa + porta-enxerto maior produtividade do que os outros porta-enxertos estudados, o trifoliata ‘Flying Dragon’ e o citrumelo ‘Swingle’.

Segundo Stenzel et al. (2005), além do limoeiro ‘Cravo’, pesquisas relatam como porta-enxertos alternativos para a laranjeira ‘Folha Murcha’, no Estado de São Paulo, o limoeiro ‘Volkameriano’, e no Estado do Rio de Janeiro, a tangerineira ‘Sunki’ e os limões ‘Volkameriano’, ‘Mazoe’, ‘Rugoso da Flórida’ e ‘Bandhuri’. Todavia, o comportamento dos porta-enxertos pode variar em função de clima, solo, doenças e práticas culturais. Por essa interação com o ambiente, os resultados dos estudos com porta-enxertos para citros frequentemente são contraditórios, podendo ocorrer variação de um local para outro. Contudo, o uso generalizado de um mesmo porta-enxerto para todas as cultivares copas pode não atender às características peculiares de cada variedade.

2.4 Sistema radicular e distribuição no solo

Segundo Magalhães (1988), o sistema radicular é uma estrutura física cuja função principal é propiciar suporte às plantas, funcionando como fundação para que o vegetal possa permanecer sobre o solo. Além disso, desempenha importantes atividades fisiológicas, tanto na síntese de fitormônios, como na absorção de água e nutrientes. Essas atividades são moduladas pelos fatores que afetam a respiração radicular, tais como a taxa de difusão do oxigênio e a temperatura do solo, que também atuam como reguladores na disponibilidade de íons, na toxidez e na presença de patógenos no solo. Por outro lado, tanto a temperatura quanto a taxa de difusão de oxigênio e a sua quantidade são influenciadas pela umidade do solo.

O crescimento das raízes segue um padrão característico de cada espécie e está relacionado ao crescimento da parte aérea, com uma tendência de manutenção da relação entre raiz e parte aérea dentro de determinados limites. A distribuição de fotoassimilados nas raízes e na parte aérea, apesar de ser controlada por fatores intrínsecos da planta, pode ser afetada por condições do ambiente. Quando as plantas são anuais, o crescimento radicular tem prioridade na germinação e no crescimento inicial (maior relação raiz/parte aérea); após, segue-se um maior crescimento da parte aérea, que passa a ter prioridade, diminuindo a relação raiz/parte aérea, especialmente na fase reprodutiva, quando a grande parte de fotoassimilados é alocada para as sementes e os frutos. Já em plantas perenes, o crescimento ocorre por fluxos de atividade, com padrões de distribuição dos fotoassimilados variando com a estação do ano (Klepper, 1991, citado por Anghinoni e Meurer, 1999).

O conhecimento das dimensões do sistema radicular auxilia na escolha de locais apropriados para a instalação de instrumentos, como o tensiômetro, visando ao manejo de irrigação, ou, ainda, em sistemas de irrigação localizada, permite fixar a distância adequada a partir do tronco onde deverá ser aplicada a água bem como a profundidade que a mesma deve atingir (Oliveira et al., 1998).

De acordo com Ceconi et al. (2008), a distribuição das raízes no solo é coordenada pelo genótipo da espécie, mas pode ser influenciada por outros fatores inerentes ao solo, como fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio,

textura, temperatura e, também, pelas circunstâncias em que a espécie se desenvolve.

De acordo com Coelho et al. (2002), o conhecimento da distribuição estática ou dinâmica do sistema radicular de qualquer cultura constitui uma ferramenta relevante para determinar a quantidade de água a ser aplicada no manejo da irrigação de uma cultura. Em relação à irrigação localizada ou a microirrigação, como a microaspersão, somente o conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular não é suficiente para inferir as zonas de absorção de água e nutrientes, já que a geometria de distribuição de água é de caráter multidimensional e difere do caráter unidimensional da irrigação por aspersão. O conhecimento do sistema radicular é importante também para o posicionamento adequado dos sensores para o monitoramento da água do solo no manejo da irrigação.

Segundo Machado e Coelho (2000), as dificuldades existentes nas técnicas de estudo da atividade e da distribuição do sistema radicular são o tempo de amostragem, a destruição do sistema exigida pelos métodos, assim como a acentuada variabilidade espacial encontrada.

Zaccheo et al. (2012), em um experimento envolvendo a distribuição do sistema radicular de diversos porta-enxertos (limoeiros ‘Cravo’ - *Citrus limonia* Osbeck - e ‘Rugoso da África’ - *Citrus jambhiri* Lush.; tangerineira ‘Cleópatra’ - *Citrus reshni* Hort ex Tan.; e ‘Trifoliata’ - *Poncirus trifoliata* (L.) Ralf) sob a laranjeira ‘Folha Murcha’ em clima subtropical, verificaram que a tangerineira ‘Cleópatra’ apresentou maior massa total de raízes a 2,0, 2,5 e 3,0 m de distância do tronco na entre linha e nas camadas superficiais dos seguintes locais de amostragem: 0,5 e 1,0 m de distância do tronco no sentido da linha e 1,5 e 2,0 m de distância do tronco no sentido da entre linha. O limoeiro ‘Rugoso da África’ apresentou maior profundidade efetiva das raízes na linha de plantio.

Coelho et al. (2002), avaliando a distribuição do sistema radicular da laranjeira ‘Pêra’, sob condição não-irrigada e irrigada, verificaram que em condições de sequeiro 52 a 75% das raízes se concentram nas camadas iniciais, entre 0 a 0,3 m. Já em condição de irrigação por gotejamento e microaspersão, 80% das raízes se encontram em camada de 0 a 0,6 m, o que comprova uma diferença relevante entre os padrões de distribuição sob as condições irrigadas por microaspersão e não irrigadas. Coelho et al. (2002) relataram, ainda, que no

sistema de microaspersão ocorreram maiores porcentagens de raízes finas do que raízes pouco finas, médias e grossas, comparando ao sistema não irrigado. Uma vez que o molhamento proporcionado pela microaspersão acarretou em uma maior expansão do sistema radicular e maior presença de raízes ativas, já que as raízes finas são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes.

Montenegro (1960) em um experimento envolvendo a distribuição do sistema radicular de diversos porta-enxertos (limoeiros 'Cravo' - *Citrus limonia* Osbeck -; laranjeira 'Caipira' e 'Trifoliata' - *Poncirus trifoliata* (L.) Ralf) sob a limeira ácida 'Tahiti', relatou que em solo com horizonte de impedimento temporário à drenagem, a 0,90 m de profundidade, houve restrição ao crescimento de raízes de citros até essa profundidade, com a maior concentração (85%) do sistema radicular na profundidade de 0 – 0,30 m. Em outro solo, sem qualquer impedimento, o sistema radicular de citros distribuiu-se mais uniformemente no perfil, atingindo até 1,50 m de profundidade.

Moreira (1983) evidencia a localização superficial das raízes da laranjeira 'Pêra' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo', apresentando cerca de 50% das raízes nos primeiros 0,15 m do solo e mais 10% até a profundidade de 0,30 m. O crescimento das raízes pode, muitas vezes, ser limitado pela baixa disponibilidade de água, insuficiente disponibilidade de nutrientes e presença de camadas adensadas de origem pedogenética ou antrópica, refletindo no desenvolvimento e na produção da planta (Oliveira, 1991).

Abrêu e Salviano (2007) relatam, sobre experimento envolvendo a distribuição do sistema radicular do porta-enxerto limão 'Cravo' sob lima ácida 'Tahiti', que a maior concentração de raízes está na camada de 0,1 a 0,2 m, totalizando 62,4% do comprimento das raízes nessa camada inicial. Isso ocorre, devido a maior concentração da quantidade de água proveniente de chuva e de irrigação e maiores aportes de nutrientes disponíveis às raízes, o que deve assegurar à planta maior capacidade de exploração do solo e, por conseguinte, maior absorção de água e nutrientes.

Machado e Coelho (2000), estudando a distribuição espacial do sistema radicular do porta-enxerto limão 'Cravo' sob lima Ácida 'Tahiti', verificaram que a profundidade efetiva (PE, que é a profundidade até onde se concentram 80 % das raízes) na linha de plantio foi de 0,40 metros. E em relação à distribuição das raízes na horizontal, verificou-se que a distância efetiva (DE, que é até onde se

concentra 80% do sistema radicular) é de 2,0 m do tronco, porém, como as copas apresentam tamanhos diferentes, pode-se dizer que a DE está entre 50 e 75% do raio de projeção da copa.

Em relação à distância efetiva do sistema radicular de plantas cítricas, Neves et al. (1998), estudando a tangerineira 'Poncã' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' em Latossolo Roxo, observaram que a distância efetiva variou de 1,5 m a 3,7 m em relação ao tronco das plantas, sendo essa distância influenciada pelo espaçamento, pela variedade de porta-enxerto e pelo manejo do solo utilizado nas entre linhas.

2.5 Contribuição do sistema radicular para o sequestro de C

Existe uma preocupação mundial crescente em relação às mudanças do clima no planeta, decorrentes, principalmente, das emissões de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases de efeito estufa (GEE), como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). Dessa forma, as principais estratégias para mitigar a emissão de GEE resultantes de atividades antrópicas consistem na menor utilização de combustíveis fósseis, redução das taxas de desmatamento e de queima de material vegetal, diminuição do uso inadequado do solo e, por fim, estratégias de maximização do sequestro de carbono no solo e na vegetação (Carvalho et al., 2010).

O carbono orgânico do solo (COS) é um dos principais indicadores de qualidade do solo, pois aumenta a disponibilidade de água, atua como agente cimentante da estrutura, no tampão do pH, na complexação de elementos e capacidade de troca de cátions. Atualmente, o COS tem recebido maior atenção por ser um dos principais componentes terrestres do ciclo do C na biosfera (Cogo, 2013).

O sequestro de carbono no solo é a transferência e estocagem segura do CO_2 atmosférico em reservatórios no solo, compreendendo tanto o carbono orgânico, também conhecido como matéria orgânica do solo ou húmus, quanto o carbono inorgânico, presente na forma de carbono elementar, carbonatos primários ou secundários (Nogueira, 2013).

O solo é o maior reservatório de carbono em sistemas terrestres e exerce papel fundamental sobre a emissão de gases do efeito estufa e consequentes mudanças climáticas globais. O carbono orgânico no solo é resultado do balanço entre processos de deposição e decomposição de resíduos (serapilheira e raízes) de plantas que originalmente obtiveram seu carbono do CO_2 atmosférico através da fotossíntese. Assim, as raízes representam um dos caminhos pelo qual o carbono entra no solo, compondo 48 a 58 % da massa de matéria orgânica do solo (Oliveira, 2008).

Os principais reservatórios de carbono do planeta são os oceanos, sendo esse o maior compartimento, contendo aproximadamente 38000 Pg, seguido do geológico (5000 Pg), do pedológico (2500 Pg), do biótico (760 Pg) e do "sumidouro" atmosférico (560 Pg). Todos esses compartimentos de carbono estão interconectados, assim o carbono pode migrar de um reservatório para outro gerando o ciclo do carbono na terra. A mudança do carbono entre os compartimentos pode ser acelerada pela atividade antrópica e vem crescendo com o aumento da população (Lal, 2004).

Segundo Oliveira (2008), a valorização do sequestro de carbono como alternativa para controlar e/ou reduzir o efeito estufa, passa a ter maior importância para a apresentação das quantidades de raízes efetivamente produzidas das plantas e não somente da densidade radicular ou das quantidades relativas ou percentuais.

A determinação do estoque de carbono no sistema radicular é realizada a partir de amostragem para quantificação e distribuição de raízes e da determinação do conteúdo de carbono na biomassa radicular. Logo, a ocorrência de alguma falha na amostragem do sistema radicular conduzirá a falhas na estimativa do estoque de carbono.

2.6 Raízes x disponibilidade e absorção de água

Segundo Jong van Lier (2010), a água disponível (AD) representa a quantidade de água existente entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). O conceito de água disponível entre os potenciais de -0,01 MPa (CC) e -1,5 MPa (PMP), no solo da zona radicular, tem sido utilizado

no desenvolvimento de estratégias de manejo do solo (Cassel e Nielsen, 1986), apesar das críticas.

De acordo com Tormena et al. (1998), a água disponível é utilizada como um indicador da qualidade do solo para o crescimento das plantas, no qual, dentro dessa faixa, em geral não ocorrem limitações por aeração e, ou, resistência do solo. Entretanto, em um solo compactado, pode levar .a variabilidade temporal da umidade devido à distribuição da precipitação, à ocorrência de restrições ao crescimento das plantas por excessiva resistência e, ou, reduzida difusão de oxigênio no solo.

O cultivo de citros é desenvolvido, em sua grande maioria, sob condições de sequeiro, com isso o suprimento de água se constitui em um dos principais fatores limitantes à produção dessa cultura. Com isso, os estudos relacionados à influência do ambiente sobre a cultura de citros devem priorizar a avaliação dos efeitos dos fatores do clima, o uso e as perdas de água pelas plantas e sobre o regime hídrico do solo (Reuther, 1973).

Segundo Magalhães Filho (2008), as plantas terrestres dependem da capacidade de suas raízes em obterem água e nutrientes do solo para sobreviverem. Características como arquitetura, extensão do sistema radicular podem estar relacionadas com tolerância à seca das plantas, permitindo que elas extraiam mais água do solo, mantendo alto o potencial da água nas folhas, maior turgescência celular e maior eficiência fotossintética.

A adaptação das laranjeiras à deficiência hídrica também é influenciada pelo uso de porta-enxertos de diferentes espécies cítricas, gêneros afins e híbridos. De acordo com Pedrosa (2013), o limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck) é o principal porta-enxerto da citricultura brasileira, devido à sua compatibilidade com grande parte das copas cultivadas e à alta tolerância à deficiência hídrica, provavelmente devido ao crescimento do seu sistema radicular em condições de estresse hídrico.

O aumento da quantidade de raízes no perfil do solo é muito importante para garantir o desenvolvimento da cultura, já que raízes mais profundas dão melhor sustentabilidade e contribuem para a absorção de água e nutrientes.

No solo, a quantidade de nutrientes absorvida pela planta é determinada principalmente pela área superficial de suas raízes, e essa característica correlaciona-se com a água absorvida pelas raízes finas. Logo, o aumento da

superfície específica de raízes finas, principalmente na camada superficial do solo, contribui diretamente para a melhor absorção de água e nutrientes pelas plantas. As raízes mais finas possuem características favoráveis à absorção de nutrientes, por apresentarem tecidos mais externos com baixo grau de suberização, além de alta permeabilidade à penetração de água e nutrientes. É descrito que raízes finas (até 2 mm) são responsáveis pela absorção de água e nutrientes e tendem a ser mais superficiais, já as raízes grossas (>2mm diâmetro) estão ligadas ao suporte e à fixação da planta ao solo e absorvem pequenas quantidades de água e nutrientes, tendem a crescer em profundidade (Rocha et al., 2010; Faria, 2006; Paulino et al., 2011).

Simões (2007) relata que, de acordo com o experimento com limão 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka) enxertado sobre o limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck), utilizando-se três disposições de microaspersores (T1 – um microaspersor por planta, localizado entre plantas ao longo da fileira; T2 – um microaspersor para duas plantas, localizado ao longo da fileira e T3 – um microaspersor por planta, localizado a 0,3 m da planta), houve concentração de grande parte das raízes na camada superficial do solo até 0,625 m. Existiu um desenvolvimento lateral do sistema radicular, com alta densidade de raízes na camada superficial com até 2 m de distância da planta. Logo, a absorção de água e nutrientes se restringe às camadas mais superficiais, onde a água está sendo introduzida. Quando a microaspersão é usada, a densidade do sistema radicular do limoeiro diminui conforme ocorre o afastamento do microaspersor e do tronco da planta. Assim, quando as camadas superficiais do solo estão pouco umedecidas, ocorre uma redução no desenvolvimento das raízes superficiais e, em contrapartida, há um acréscimo na proliferação de raízes profundas, em virtude de uma maior disponibilidade de água nas camadas mais subsuperficiais.

2.7 Métodos de estudo do sistema radicular

Os sistemas radiculares são estruturas ramificadas complexas que variam no espaço e no tempo, o que traz implicações nos aspectos metodológicos dos estudos. Além disso, o solo apresenta seus próprios padrões de variabilidade espacial, expressos em gradientes diferenciados de propriedades físicas e

químicas, que superpostos à variabilidade endógena das raízes, aumentam a anisotropia do sistema radicular (Bengough et al., 2000).

De acordo com Brasil et al. (2007), os métodos atuais de estudo podem ser classificados de acordo com suas finalidades. Dessa forma, os propósitos podem variar desde simples estimativas da profundidade do sistema ou da biomassa radicular até complexas quantificações de demografia radicular, em estudos de ciclagem de raízes.

Tradicionalmente, as técnicas destrutivas de solos e raizes, mediante uso do trado, anel volumétrico, monólito, anéis de crescimento, escavação do sistema radicular ou abertura de trincheiras, têm sido as mais utilizadas na investigação da morfologia radicular (Böhm, 1979).

Gomes e Vieira (2001), analisando o método do trado, relatam que esse é o mais adequado para retiradas de amostras de volume das raízes no solo, e que o peso seco é o parâmetro mais comum para o estudo do desenvolvimento do sistema radicular, em resposta ao meio ambiente. Como os trados possuem diferentes tamanhos e diâmetros, permitem a retirada de amostras em diferentes profundidades e de diferentes volumes, sendo ajustável de acordo com a espécie vegetal e as condições de experimentação. Como desvantagem, apresenta limitações quando utilizado em solos pesados, compactados ou pedregosos, não permite o estudo da morfologia dos sistemas radiculares e tem inconveniente operacional quando é usado em profundidades superiores a 1,0 m (Bohm, 1979). Kolesnikov (1971) afirma que o método do trado é o mais simples e barato, podendo ser usado para estudos teóricos e práticos sobre amostragem de raízes de frutíferas.

O método do anel volumétrico possui uma grande aceitação por ser menos destrutivo e também por permitir a obtenção de um elevado número de repetições, o que pode significar uma vantagem em termos estatísticos. Entretanto, um dos problemas mais críticos desse método é a determinação do número de amostras necessárias para se obter diferenças significativas entre médias, em função do coeficiente de variação amostral a um dado nível de probabilidade (Van Noordwijk, 1987). Bohm (1979) observou que esse método não se adapta bem aos estudos de morfologia radicular.

De acordo com Ivo (1999), o termo monólito, segundo definições está etimologicamente ligado ao termo pedra (lithos), significando uma coluna simples

ou um bloco de pedra, e referindo-se sempre a uma estrutura unitária (mono). Segundo Bohm (1979), esse é um método frequentemente aplicado quando se deseja a quantificação das raízes, sendo, em muitos casos, suplementado por representações visuais. A principal vantagem desse método é de permitir uma avaliação precisa da distribuição vertical e horizontal do sistema radicular, e também a obtenção da massa de raízes por classe de tamanho por monólito. Contudo, sua desvantagem é o dispêndio muito grande de tempo na movimentação e no peneiramento de terra.

Segundo Smit et al. (2000), o método de escavação, para extração de raízes, continua a ser um dos procedimentos mais usados nos estudos de raízes. A principal desvantagem é que a escavação de grandes volumes de terra não é conveniente em muitas situações, especialmente tratando-se de pequenas parcelas experimentais. No entanto, o método da escavação permite o fornecimento de informações sobre a arquitetura do sistema de raízes. A escavação pela aplicação de jatos de água permite uma boa estimativa da profundidade das raízes, sendo eficiente na estimação da densidade de raízes por volume de solo.

Segundo Paixão (2004), o método da escavação consiste em expor total ou parcialmente o sistema radicular, alcançado através da remoção cuidadosa do solo, afim de não acarretar danos às raízes. Além da quantificação do sistema radicular, esse método permite o estudo da distribuição natural das raízes no solo, além de sua forma e cor. Entretanto, tem como desvantagem um grande dispêndio de tempo para a sua realização (Bohm, 1979).

Para Bohm (1979), o método da trincheira consiste em cavar uma trincheira ao lado da planta e remover uma fina camada da parede do perfil, de modo a expor as raízes, que depois são cortadas e registradas em desenhos ou tabelas. Esse método permite uma boa visualização da distribuição das raízes no perfil, não sendo necessário lavar e separar as raízes da terra, o que é muito trabalhoso. Porém, para a escolha desse método é necessário iniciar um estudo mais detalhado, devido às alterações no solo e por ser mais difícil para a execução de repetições.

2.8 Quantificação de raízes via análise de imagens por software

A quantificação das raízes é um dos processos mais dispendiosos, em relação aos recursos humanos e financeiros. Com o avanço da informática surgiram métodos para o estudo do sistema radicular, destacando-se a análise de imagens. Dentre os softwares mais utilizados para tal análise, destacam-se o SIARCS, Delta-T Scan e WinRhiizo.

O SIARCS 3.0 (Sistema Integrado para Análises de Raízes e Cobertura do Solo), desenvolvido pela EMBRAPA/CNPDIA, é um software nacional que analisa área de raízes, cobertura vegetal e área foliar, cujo método é descrito por Jorge e Crestana (1996). Esse sistema exige que o usuário selecione a área da imagem que deve ser visualizada, utilize filtros em linhas internas da imagem e ajustes de escala, pois o software não reconhece automaticamente a definição em pixels da imagem digital. Posteriormente, transforma a imagem digital resultante em um vetor de valores binários. Uma vez obtida a imagem binária, pode-se efetuar a análise. De acordo com Rossi et al. (2008), esse sistema apresenta como vantagens a realização de medições de áreas para análises de raízes e solos, permitindo intervenções manuais para correções da imagem (luminosidade e tamanho real do objeto com a utilização de softwares de tratamento de imagem). No entanto, tais intervenções geram grande dispêndio de tempo para a execução e hoje no mercado existem sistemas que fazem todas as correções necessárias nas imagens.

Segundo Name (2013), os softwares WinRhizo e Delta-T Scan são softwares disponíveis comercialmente, possuindo propriedade de calcular o diâmetro médio e a área superficial das raízes. O método tradicional de obtenção do diâmetro médio é dependente da massa fresca das raízes e a área superficial é obtida segundo a equação da superfície de um cilindro.

De acordo com Cantão et al. (2008), a análise do sistema WinRhizo é realizada de acordo com o método da interseção de fragmentos de raiz em uma malha de dimensões conhecidas. Dessa forma, as raízes são distribuídas aleatoriamente sobre um anteparo, e posteriormente são contadas as interseções, esse valor é então utilizado em uma expressão matemática estimando-se assim o comprimento do sistema radicular. A principal desvantagem desse método é quando ocorre sobreposição das raízes. Além da facilidade operacional, a grande

vantagem do sistema WinRhizo, é de corrigir as limitações do método da interseção, em particular, o da subestimação do comprimento das raízes, decorrente da sobreposição das mesmas.

2.9 Qualidade física do solo para o cultivo de citros no Brasil

A qualidade física do solo é determinada através da disponibilidade de água, aeração, densidade, porosidade e resistência mecânica que a matriz do solo impõe ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Segundo Rodriguez et al. (1991), o tipo de solo recomendado para instalação da cultura da laranja, de forma a ter boa produtividade, é aquele que permite o desenvolvimento estável do sistema radicular, precisando também apresentar boa drenagem e boa capacidade de armazenamento de água.

Segundo Abrêu (2005), os solos mais apropriados para o cultivo de citros são os profundos e permeáveis, que permitem maior desenvolvimento das árvores e maior produção de frutos. As condições desfavoráveis às plantas, de acordo Mattos Jr. et al. (2005), são os solos pouco profundos de textura muito argilosa, que favorecem o encharcamento nas partes mais baixas do terreno; a presença de camadas subsuperficiais compactadas, que limitam o desenvolvimento do sistema radicular; solos arenosos e pedregosos, cuja capacidade de retenção de água é baixa; e também solos alcalinos, ácidos e salinos que também limitam o desenvolvimento das raízes. A aptidão dos solos recomendados para citros deve ser definida em termos de profundidade, compacidade (compactação e, ou, adensamento), drenagem interna e disponibilidade de água (Rezende, 2000).

Segundo Jong van Lier (2010), a densidade do solo é um atributo que reflete primariamente o arranjo das partículas do solo, que, por sua vez, define as características de seu espaço poroso. Logo, qualquer ação que possa influenciar o arranjo das partículas refletirá diretamente nos valores da densidade do solo. Desse modo, a densidade é extremamente dependente da estrutura.

A densidade é provavelmente a propriedade mais segura para avaliar a compactação do solo, já que tem menor ou nenhuma dependência de fatores

como a umidade, sendo um importante mecanismo de identificação de qualidade do solo (Barbosa, 2012).

Segundo Lima et al. (2004), a uma mesma densidade do solo e a um mesmo potencial de água, o solo é menos compressivo quanto menor o conteúdo de substâncias orgânicas e maior o conteúdo de argila. A um mesmo conteúdo de argila, o solo é mais compressivo quanto menor a densidade inicial e maior a umidade.

De acordo com Santana et al. (2006), as raízes das plantas cítricas atingem 4 a 5 m de profundidade, quando cultivadas em solos arenosos e profundos. Já em solos com camadas adensadas, o crescimento das raízes é prejudicado, ocorrendo superficialização das raízes, devido aos valores elevados de densidade e de resistência do solo à penetração, redução da macroposidade e, consequentemente, da aeração.

Reichert et al. (2003) sugerem que os valores de densidade do solo críticos ao desenvolvimento das plantas para solos muito argilosos variam de 1,25 a 1,30 Mg m^{-3}. O valor crítico de densidade para culturas comerciais, proposto por Reinert et al. (2001) para solos com textura arenosa, com menos de 20% argila, é de 1,65 Mg m^{-3}.

Segundo Silva et al. (2011), a utilização de práticas de cultivo que levam ao favorecimento do crescimento radicular e à redução da densidade do solo devem ser utilizadas, quando for identificada densidade do solo superior a 1,30 g cm^{-3}. Todavia, Reinert et al. (2001) relatam que, para solos argilosos, valores de densidade acima de 1,45 g cm^{-3} são críticos ao crescimento radicular.

De maneira geral, o valor de 1,40 g cm^{-3} é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (Souza et al., 2005). Assim, densidade com valor entre 1,27 e 1,57 g cm^{-3} é restritiva ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo.

O aumento da densidade do solo além de um valor ótimo ocasiona prejuízo à qualidade física do solo (menor estruturação, menor porosidade total, menor volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração) e, consequentemente, maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Santana, 2009).

Segundo Jong van Lier (2010), a porosidade do solo ou porosidade total representa a fração do solo em volume não ocupada por sólidos. O cálculo da porosidade total pode ser realizado a partir das determinações das densidades do solo e de partículas.

Santos et al. (2013) relatam que a porosidade do solo caracteriza-se pela forma como se arranjam suas partículas sólidas, mas quando essas se arranjam em íntimo contato, ocorre predominância de sólidos na amostra de solo e a porosidade total é baixa. Contudo, se de forma inversa, as partículas se encontram arranjadas em forma de estrutura, há a predominância de vazios na amostra de solo e a porosidade é alta.

De acordo com Dalmago (2004), a porosidade total do solo é formada por poros que apresentam diferentes tamanhos, sendo divididos em três classes principais, a macroporosidade, a mesoporosidade e a microporosidade, os quais possuem diferentes funções no solo.

Segundo Teixeira (2008), a porosidade em solos arenosos varia de 37 a 50%, já em solos argilosos varia de 43 a 52%.

De acordo com Marschner (1995), em um solo compactado o número de macroporos é reduzido e a densidade é maior, o que, em solo seco, resulta em maior resistência física ao crescimento das raízes e decréscimo no potencial de água, enquanto em um solo úmido gera falta de oxigênio e, principalmente, elevadas concentrações de etileno na zona radicular, devido à menor aeração.

De acordo com Cruz (2003), para cultura dos citros, apenas o conhecimento sobre os dados pluviométricos do período não é suficiente para se estimar a disponibilidade hídrica no solo necessária, já que esses dados representam apenas o processo de suprimento de água para o uso das plantas. Dessa forma, é imprescindível a realização do balanço hídrico da água no solo, considerando os processos de perda de água do solo para a atmosfera.

O cultivo de citros é desenvolvido, em sua grande maioria, sob condições de sequeiro, com isso o suprimento de água se constitui em um dos principais fatores limitantes à produção dessa cultura. Dessa forma, os estudos relacionados à influência do ambiente sobre a cultura de citros devem priorizar a avaliação dos efeitos dos fatores do clima, o uso e as perdas de água pelas plantas e sobre o regime hídrico do solo (Reuther, 1973).

Segundo Magalhães Filho (2008), as plantas terrestres dependem da capacidade de suas raízes em obterem água e nutrientes do solo para sobreviverem. Características como arquitetura, extensão e condutividade hidráulica do sistema radicular podem estar relacionadas com tolerância à seca das plantas, permitindo que elas extraiam mais água do solo, mantendo alto o potencial da água nas folhas, maior turgescência celular e maior eficiência fotossintética.

Segundo Blainski et al. (2007), as restrições ao desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas são impostas também por fatores físicos chamados de resistência do solo à penetração (RP). A RP depende da composição granulométrica do solo, da estrutura, do teor de matéria orgânica e da umidade do solo. Quanto à estrutura, em geral o aumento de RP é associado ao aumento da densidade do solo, sendo que esse promove diminuição da porosidade total e alteração na distribuição de tamanhos de poros. Logo, a RP varia positivamente com a densidade do solo (Ds). Quanto à umidade ou ao conteúdo de água do solo (θ), a resistência mecânica aumenta exponencialmente com a redução do teor de água do solo, uma vez que à medida que o solo seca, as forças de coesão se tornam maiores, havendo concentração dos agentes cimentantes na solução do solo, além da redução do efeito lubrificante da água.

O valor de RP igual a 2 MPa tem sido frequentemente utilizado como crítico para o crescimento das plantas, em especial para definir um limite inferior de água no solo na quantificação do intervalo hídrico ótimo (região delimitada por limite superior e inferior de conteúdos de água, na qual são mínimas as limitações para o crescimento das plantas). Taylor et al. (1966) e Tormena et al. (1998) indicam que valores de 2 MPa têm sido um impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular para a maioria das culturas, entretanto Beuther e Centurion (2003) indicam que há plantas que se desenvolvem bem com valores superiores a 3 MPa e, ainda, Foloni et al. (2003) complementam destacando que há plantas que apresentam limitações com valores em torno de 1,4 MPa.

Para Vepraskas e Miner (1986), valores de resistência à penetração de 2,8 a 3,2 MPa retardam a elongação das raízes e valores iguais a 4,0 MPa acarretam na anulação do crescimento de raízes. Pabin et al. (1998) relatam que um decréscimo de 40% do comprimento radicular é crítico à produtividade das plantas. Já Cintra e Mielniczuk (1983), em um Latossolo Roxo muito argiloso,

evidenciaram que com uma resistência à penetração de 1,1 Mpa houve uma redução de 50% no comprimento radicular de várias culturas, concluindo que tal resistência leva a uma redução na produtividade das plantas. Em camadas compactadas artificialmente de um solo Podzólico Vermelho-Escuro, o crescimento de raízes de trigo foi fortemente limitado quando a resistência do solo à penetração estava entre 3,5 e 5,5 MPa (Merotto Jr e Mundstock, 1999).

De acordo com Moraes (2013), o emprego da irrigação pode contribuir não só para atender as necessidades hídricas da cultura, mas também para reduzir a resistência do solo e melhorar a distribuição das raízes no perfil do solo.

Para Beutler e Centurion (2003), as plantas respondem diferentemente à resistência do solo à penetração, variando entre culturas e cultivares. As raízes das plantas que crescem em solos com alta resistência à penetração apresentam modificações morfológicas. Assim, decréscimo na divisão celular no meristema e aumento no diâmetro da raiz, resultante do aumento na espessura do córtex, reduzem a área de solo explorado pelas raízes e a absorção de água e nutrientes (Taylor e Brar, 1991; Bengough et al., 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo, em uma área de 1,5 hectares cultivada com citros, no setor de Fruticultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Município de Bom Jesus do Itabapoana – RJ, com coordenadas geográficas 21°08’ S e 41°40’ O. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Moraes, 2013), com atributos químicos apresentados no Quadro 1 e atributos físicos apresentados no Quadro 2. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da Região Noroeste Fluminense é Aw, isto é, com uma estação quente e chuvosa no verão e outra seca no inverno (Barbosa et al., 2008).

Quadro 1. Atributos químicos do solo da área experimental cultivada com a laranjeira ‘Folha Murcha’, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ

Camada	pH	P*	K*	Ca	Mg	Na	Al	H + Al
(cm)	(H_2O)	- (mg dm^{-3}) -		---------- ($cmol_c$ dm^{-3}) ----------				
0-20	5,1	6,4	112,1	1,5	0,8	0,03	0,3	3,8
20-40	4,8	2,0	83,3	1,0	0,6	0,03	0,5	3,1

Obs.: Análise realizada pelo Laboratório de Análise de Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda, Campos dos Goytacazes-RJ.
* Extrator Carolina do Norte.

Quadro 2. Composição granulométrica, densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro), dos horizontes do perfil de um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo da laranjeira 'Folha Murcha', em Bom Jesus do Itabapoana, RJ

Hori-zonte	areia	silte	argila	Dp	Ds	PT	macro	micro
	---------- (g kg^{-1}) ----------			---- (Mg m^{-3}) ----		--------- (m^3 m^{-3}) ---------		
Ap	421	127	452	2,695	1,470	0,455	0,126	0,328
BA	272	111	617	2,717	1,406	0,482	0,120	0,362
Bt1	247	84	669	2,848	1,337	0,531	0,129	0,402
Bt2	289	84	627	2,841	1,415	0,502	0,104	0,398
Bt3	340	115	545	2,863	1,478	0,484	0,117	0,367
C	499	178	323	2,817	1,589	0,436	0,100	0,336

Fonte: Moraes (2013).

O alvo do estudo é a laranjeira 'Folha Murcha', enxertada sobre o limoeiro 'Cravo', em fase de produção. De acordo com Amaral (2013), o pomar foi implantado no ano de 2006, em espaçamento entre plantas de 5 m x 5 m, em uma área cuja declividade está em torno de 20%. Para a aplicação de água, por meio da irrigação, vêm sendo utilizados microaspersores autocompensantes da marca NAANDAN, modelo DAN 2002, equipado com asa giratória tipo "pop-up" (anti-inseto) com limitador de diâmetro para impedir a interferência entre tratamentos. Embora tal diâmetro (de aplicação direta de água) seja limitado a 2 m, para a realização do balanço hídrico da cultura nesse mesmo pomar, Moraes (2013) considerou a área de umedecimento (por redistribuição lateral da água) tendo 4 m de diâmetro. A adubação tem sido realizada de acordo com a recomendação de adubação e calagem para o Estado de Minas Gerais – 5ª aproximação (Ribeiro et al., 1999). Foi realizada uma calagem, em área total, sem incorporação, para a elevação da saturação de bases a 70%. Em relação às fertilizações, vêm sendo feitas de forma convencional, isto é, via solo, utilizando ureia agrícola (45% de N), superfosfato simples (18% de P_2O_5) e cloreto de potássio vermelho granulado (60% K_2O) como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, sendo o fertilizante aplicado na projeção da copa, de forma parcelada em quatro vezes a cada ano. Para o controle de plantas daninhas vêm sendo realizadas roçadas nas entrelinhas e capinas químicas nas

linhas de plantio, com uso de herbicida não seletivo de ação sistêmica de pós-emergência (Glifosato, 480 g L^{-1}). Para o manejo de pragas e doenças utilizam-se, preventivamente, podas de limpeza, com retirada de ramos quebrados, mal posicionados e doentes (e subsequente, pincelamento do caule com oxicloreto de cobre na concentração de 840 g kg^{-1}, diluído em água) e, de forma curativa, aplicação de defensivos agrícolas registrados para cultura, quando necessário.

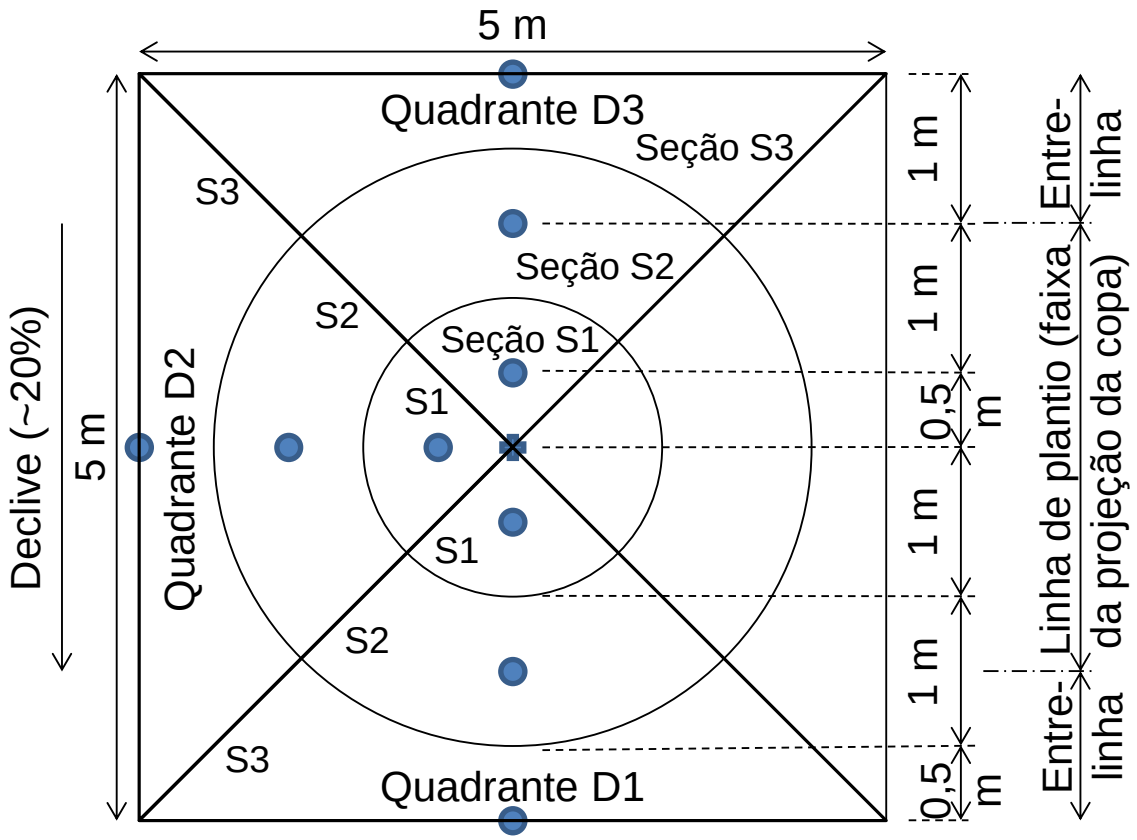
3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, sendo considerados no presente trabalho três tratamentos e três repetições. A unidade experimental contituiu-se de três plantas subsequentes em uma mesma linha de plantio, sendo avaliada em cada parcela apenas a planta central, sendo três plantas por bloco e nove plantas no total. Os tratamentos consistiram de um controle sem irrigação (T1), e do fornecimento de água em dois níveis, sendo T2 e T3 baseados na evapotranspiração potencial da cultura (ETp), com T2 = 64% e T3 = 100% da ETp.

3.3 Avaliação do sistema radicular da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’

3.3.1 Coleta das raízes

Para o estudo da distribuição do sistema radicular da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’, em profundidade e em relação à distância do tronco, foi utilizado o método do trado, conforme croqui apresentado na Figura 1. Primeiramente, foram definidos para cada planta avaliada nove pontos de coleta, sendo três no quadrante D2 (na direção da linha de plantio), três no quadrante D3 (na direção da entrelinha à montante – ou declive acima) e três no quadrante D1 (na direção da entrelinha à jusante – ou declive abaixo). Para cada quadrante ou direção os pontos foram demarcados a 0,5, 1,5 e 2,5 m de distância do tronco, representando as seções S1, S2 e S3, respectivamente.



Legenda / informações da coleta:

✤ - posição do tronco da planta
● - furo do trado (diâmetro = 0,08 m)
Quadrantes:
D1 - direção da entrelinha à jusante
D2 - direção da linha (ou lateral)
D3 - direção da entrelinha à montante

Área total de cada quadrante: 6,25 m^2
Volume de solo dos quadrantes: 6,25 m^3

Área total: 25 m^2
Volume total de solo: 25 m^3
Seções de coleta em cada quadrante:
S1 – interna
Área: 0,785 m^2; volume de solo: 0,785 m^3
S2 - intermediária
Área: 2,356 m^2; volume de solo: 0,256 m^3
S3 - externa
Área: 3,108 m^2; volume de solo: 3,108 m^3

Obs: Os volumes de solo mencionados são sempre da superfície até 1 m de profundidade

Figura 1. Croqui indicativo da posição dos pontos de coleta de raiz em relação ao tronco da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo', com informações a respeito da representatividade (área e volume) das amostras.

Ressalta-se que os valores de área superficial e volume de solo das referidas seções, constantes na legenda da Figura 1, foram utilizados como fator de ponderação para a estimativa do estoque de biomassa radicular e da profundidade e distância efetivas, conforme descrito posteriormente. Em cada ponto foi realizada a coleta das amostras de solo + raíz, até 1 m de profundidade, sendo uma a cada camada de 0,20 m de profundidade, totalizando cinco

amostras por ponto de coleta. O trado utilizado foi do tipo “caneca”, com diâmetro de corte de 0,08 m, que proporcionava um furo com área da seção transversal (A_{trado}) de aproximadamente 0,005 m^2, de modo que o volume de cada amostra de solo era cerca de 1 L. Foram 45 amostras por planta e um total de 405 amostras para as 9 plantas avaliadas.

3.3.2 Separação e preparo das raízes da laranjeira ‘Folha Murcha’

As amostras foram levadas ao Laboratório de Solos da UENF, em Campos dos Goytacazes, RJ, onde as raízes foram separadas do solo por tamisamento, sequencial em um conjunto de peneiras com malhas 8, 4, 2 e 1 mm. Para o manuseio e a retirada das raízes, foi utilizado um conjunto de pinças de dissecação. Amostras de solos com alta umidade foram colocadas inicialmente para secagem ao ar, atingindo umidade próxima ao ponto de máxima friabilidade, facilitando o posterior peneiramento. Depois de separadas, as amostras de raiz foram lavadas, pesadas, acondicionadas em sacos plásticos e levadas a uma geladeira com temperatura em torno de 4ºC.

3.3.3 Digitalização e análise das imagens de raiz

As amostras de raiz foram levadas ao Laboratório de Fitotecnia da UENF, para o escaneamento das raízes, utilizando o Scanner EPSON Expression 10000XL. Nesse procedimento, na superfície do scanner utilizou-se uma cubeta com dimensões de 15 x 25 cm, previamente preenchida com água desionizada. Depois houve a distribuição das raízes na superfície do scanner e digitalização, para imediata quantificação das variáveis comprimento (CR), área superficial (ASR), volume (VR) e diâmetro médio (DMR) das raízes realizada por meio do software “WinRhizo” instalado no computador ao qual o scanner estava acoplado. Além de tais informações, o programa fornece valores de área de projeção das raízes e o número de pontas, bifurcações e cruzamento das raízes, dados esses não avaliados no presente trabalho. Para a análise da imagem pelo software, os dados foram considerados em sete classes de diâmetro: classe 1 (diâmetro < 0,5 mm); classe 2 (diâmetro entre 0,5 - 2,0 mm); classe 3 (diâmetro entre 2,0 - 4,0

mm); classe 4 (diâmetro entre 4,0 - 8,0 mm); classe 5 (diâmetro entre 8,0 - 12,0 mm); classe 6 (diâmetro entre 12,0 - 30,0 mm); e classe 7 (diâmetro > 30,0 mm).

3.3.4 Massa seca das amostras de raiz

Na sequência, após a digitalização no scanner, as amostras de raiz foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 65ºC por 72 horas, sendo então pesadas para a obtenção da massa seca de raiz (MR). A pesagem foi feita com balança de precisão de 0,001 g.

3.3.5 Definição das variáveis radiculares para análise

A partir da digitalização e quantificação das raízes nas sete classes de diâmetro, verificou-se que a ocorrência de raízes nas classes 5, 6 e 7 era pouco frequente (41 vezes dentre 405 possíveis, cerca de 10% das amostras). Como a ocorrência apenas eventual de raízes dessas classes de diâmetro contribuia para os dilatados coeficientes de variação observados para volume e massa seca radicular, optou-se por excluir sua contribuição para os resultados de tais variáveis. Assim, o volume radicular foi corrigido totalizando-o a partir da soma das classes de 1 a 4, enquanto a massa seca radicular foi corrigida subtraindo-se um valor proporcional ao volume radicular desconsiderado, obtido a partir da equação de regressão linear entre massa e volume radicular (variáveis com alto coeficiente de correlação R = 0,98), a seguir.

$$MR = 0{,}3768\ VR \qquad (1)$$

Para CR, ASR e DMR optou-se por não fazer qualquer correção, tendo em vista que a contribuição das classes 5, 6 e 7 era pouco significativa para essas variáveis.

Para as variáveis CR, ASR e VR foram ainda definidas e totalizadas duas novas classes, chamadas raízes grossas – diâmetro de 2 a 8 mm (CRG, ASRG e VRG, respectivamente) e raízes finas – diâmetro menor que 2 mm (CRF, ASRF e

VRF, respectivamente). Ressalta-se ainda que, à exceção do DMR, os valores das referidas variáveis (incluindo MR) foram tratados como variáveis “densidade radicular” (ou seja: massa, comprimento, área superficial e volume radicular por unidade de volume de solo), sem necessidade de qualquer transformação, pois, da mesma forma que ocorreu no trabalho de Valicheski (2008), o volume das amostras de solo coletadas para a separação das raízes correspondeu a 1 L (sendo, no presente caso, obtidas em camadas de solo de 0,20 m de espessura).

A quantificação da biomassa total de raízes de uma planta – ou estoque radicular (ER) – foi feita a partir da equação:

$$ER = ER_{D1} + 2\,ER_{D2} + ER_{D3} \quad (2)$$

onde ER_{D1}, ER_{D2} e ER_{D3} correspondem aos estoques radiculares nos quadrantes D1, D2 e D3, respectivamente, e fator 2 junto à variável ER_{D2} decorre do fato de se assumir que na linha, o quadrante oposto ao D2 (Figura 1) apresentaria a mesma densidade radicular do próprio D2. Por outro lado, a obtenção do estoque radicular nos referidos quadrantes foi feita a partir da equação:

$$ER_{Dx} = ER_{DxS1} + ER_{DxS2} + ER_{DxS3} \quad (3)$$

onde x assume o valor correspondente ao quadrante em questão (1, 2 ou 3), e ER_{DxS1}, ER_{DxS2} e ER_{DxS3} correspondem aos estoques radiculares nas seções de coleta S1, S2 e S3, respectivamente (Figura 1). Em relação à quantificação dos estoques radiculares nas citadas seções, essa foi feita a partir da equação:

$$ER_{DxSy} = MR_{trado}\,A_{Sy} / A_{trado} \quad (4)$$

onde y assume o valor correspondente à seção em questão (1, 2 ou 3), MR_{trado} é a massa seca total de raízes no ponto de coleta em questão até a profundidade

de 1 m (obtida pela soma das massas radiculares nas 5 amostras do referido ponto de coleta), A_{Sy} é a área da superfície da seção Sy (Figura 1) e A_{trado} é 0,005 m^2 (correspondente à área da superfície de coleta, ou da seção transversal do furo do trado).

Em relação às raízes grossas e finas, o cálculo dos estoques foi realizado por meio das mesmas equações 2 a 4 acima descritas, exceto pelo fato de que na equação 4 a massa radicular (MR) foi substituída pelos volumes radiculares (VRG e VRF). Ressalta-se ainda que tais estoques volumétricos podem ser convertidos para estoques gravimétricos pelo uso da equação 1.

De acordo com Homma (2005), as variáveis profundidade efetiva (PE) e distância efetiva (DE) radiculares têm sido obtidas considerando-se a inclusão de 80% da quantidade total (massa) de raízes da planta (ou, de fato, 80% do total de raízes dentro da máxima profundidade do solo ou máxima distância do tronco consideradas no levantamento de campo). No presente trabalho, a profundidade e a distância efetivas das raízes foram obtidas para cada um dos quadrantes de coleta (PE_{Dx} e DE_{Dx}, respectivamente, com x assumindo os valores 1, 2 e 3, correspondentes aos quadrantes estudados).

Para a obtenção da PE_{Dx} inicialmente fez-se o cálculo da quantidade relativa de raízes para cada camada de coleta do quadrante em questão (QR_{DxCz}):

$$QR_{DxCz} = ER_{DxCz} / ER_{Dx} \quad (5)$$

com z assumindo os valores 1 a 5, de acordo com a camada avaliada, ER_{DxCz} correspondendo aos estoques radiculares de cada uma das cinco camadas, e sendo ER_{Dx} obtida pela equação 3. A obtenção do valor de ER_{DxCz} correspondente a cada camada foi feita por meio da equação:

$$ER_{DxCz} = ER_{DxCzS1} + ER_{DxCzS2} + ER_{DxCzS3} \quad (6)$$

similar à equação 3, com ER_{DxCzS1}, ER_{DxCzS2} e ER_{DxCzS3} correspondendo aos estoques radiculares nas seções de coleta S1, S2 e S3, respectivamente, para a

camada Cz em questão. Em relação à quantificação desses estoques radiculares, essa foi feita a partir da equação:

$$ER_{DxCzSy} = MR_{trado}\ A_{Sy} / A_{trado} \quad (7)$$

similar à equação 4, sendo nesse caso MR_{trado} assumida como correspondente à massa de raízes retirada da amostra coletada na seção e camada em questão.

Para a obtenção da PE_{Dx}, quando a quantidade relativa de raízes da primeira camada (QR_{DxC1}) ultrapassava 0,80, foi utilizada a equação:

$$PE_{Dx} = 0,16 / QR_{DxC1} \quad (8)$$

onde 0,16 representa o produto da fração que representa a profundidade radicular efetiva (0,8) pela espessura da camada (0,20 m).

Quando o QR_{DxC1} era menor que 0,80, avaliava-se a quantidade relativa de raízes acumulada até a camada seguinte ($QR_{DxC1} + QR_{DxC2}$), e assim sucessivamente, até que fosse ultrapassada a quantidade relativa de raízes de 0,80, quando então o valor da PE_{Dx} foi obtida pela equação:

$$PE_{Dx} = 0,2\ (z - 1) + 0,16 / QR_{DxCz} \quad (9)$$

onde z é o número da camada em que a fração radicular de 0,80 foi ultrapassada.

Similarmente à PE_{Dx}, para a determinação da DE_{Dx} inicialmente fez-se também o cálculo da quantidade relativa de raízes, neste caso não para cada camada, mas para cada seção de coleta do quadrante em questão (QR_{DxSy}):

$$QR_{DxSy} = ER_{DxSy} / ER_{Dx} \quad (10)$$

com y assumindo os valores 1, 2 e 3, de acordo com a seção avaliada. Quando o valor obtido para a primeira seção (QR_{DxS1}) ultrapassava 0,80, a área efetiva radicular (AE_{Dx}, que inclui 80% da massa total de raízes do quadrante) foi calculada pela equação:

$$AE_{Dx} = 0,8\ A_{S1} / QR_{DxS1} \quad (11)$$

Quando o QR_{DxS1} era menor que 0,80, avaliava-se a quantidade relativa de raízes acumulada até a segunda seção ($QR_{DxS1} + QR_{DxS2}$), e se essa ultrapassava 0,80, o valor da AE_{Dx} foi então obtido pela equação:

$$AE_{Dx} = A_{S1} + (0,8 - QR_{DxS1})\ A_{S3} / QR_{DxS2} \quad (12)$$

Finalmente, quando a soma $QR_{S1} + QR_{S2}$ era menor que 0,80, calculou-se a AE_{Dx} por:

$$AE_{Dx} = A_{S1} + A_{S2} + (0,8 - QR_{DxS1} - QR_{DxS2})\ A_{S3} / QR_{S3} \quad (13)$$

Então, em qualquer dos três casos acima, conhecendo-se AE_{Dx}, o valor da DE_{Dx} pode ser calculado por:

$$DE_{Dx} = (4\ AE_{Dx} / \pi)^{0,5} \quad (14)$$

em que DE_{Dx} equivale, de fato, ao raio radicular efetivo (que inclui 80% da massa total de raízes) do quadrante (ou quarto de círculo) em questão. Ressalta-se ainda que o valor de DE_{Dx} é inferior a 1,0 m, quando AE_{Dx} é obtida pela equação

6, fica entre 1,0 e 2,0 m, quando utilizada a equação 7, e é superior a 2,0 m, quando a equação 8 é utilizada.

Adicionalmente à PE e DE, foram também obtidas as profundidades e distâncias efetivas das raízes grossas e finas, resultando nas variáveis PEG, PEF, DEG e DEF, respectivamente, sendo essas calculadas a partir das equações 5 a 14 acima descritas, usando o volume radicular ao invés da massa seca radicular. Em relação às raízes grossas e finas, o cálculo dos estoques foi realizado por meio de equações idênticas às acima descritas, exceto pela substituição da massa radicular (variável MR) pelos volumes radiculares (variáveis VRG e VRF).

3.4 Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o software “Assistat”, sendo admitido um esquema fatorial 3 x 3 x 3 x 5, sendo o primeiro fator os três níveis de irrigação, o segundo os três quadrantes de amostragem, o terceiro as três distâncias do tronco, e o quarto níveis as cinco camadas de coleta de solo. Havendo efeito significativo, as médias dos três primeiros fatores foram comparadas com aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade, também usando o software “Assistat” (quando os efeitos eram simples ou com interação dupla) ou usando planilha eletrônica do Microsoft Excel (quando ocorria interação tripla). Os efeitos da profundidade, quando significativos, foram expressos em gráficos confeccionados também no Microsoft Excel, com médias interconectadas por “linhas suavizadas”, não tendo sido realizado o ajuste de modelos matemáticos para representa-los.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa, volume, área superficial, comprimento e diâmetro radicular

No Quadro 3 são apresentados valores referentes à massa radicular da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. A análise de variância desses dados de densidade (ou concentração) revelou que a massa radicular concentra-se na seção S1 (próximo ao tronco, com ponto de coleta a 0,50 m de distância desse), e também nas primeiras camadas do solo, até 0,40 m de profundidade. Revelou ainda que a concentração radicular foi significativamente afetada pelo quadrante (ou direção) de coleta, em interação com a profundidade e a distância do tronco (ou seção de coleta), conforme apresentado na Figura 2, com a concentração radicular das duas primeiras camadas (0-20 e 20-40 cm) sendo significativamente superior na seção S1 em relação às seções S2 e S3, quando no quadrante 2, e apenas em relação à seção 3, quando nos quadrante 1 e 3. Revelou, também, que houve efeito do nível de fornecimento de água sobre a massa radicular, em interação com a profundidade, conforme apresentado na Figura 3, com o tratamanto T2 apresentando uma distribuição radicular menos contrastante ao logo do perfil de solo e com T1 sendo significativamente superior a T3 na camada 20-40 cm. As complexas interações entre planta, solo e outros fatores bióticos e abióticos dificultam a identificação de uma justificativa simples e/ou objetiva para os fatos supramencionados.

Quadro 3. Valores médios da massa radicular (g L^{-1}) obtidos para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da irrigação (T1- testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	1,208	0,961	0,562	1,876	0,319	0,127	0,586	0,565	0,600
0,2 – 0,4	2,040	1,707	0,243	0,788	0,158	0,134	0,750	0,045	0,115
0,4 – 0,6	0,071	0,187	0,172	1,003	0,659	0,020	0,235	0,095	0,035
0,6 – 0,8	0,105	0,059	0,055	1,607	0,260	0,070	0,213	0,053	0,007
0,8 – 1,0	0,271	0,047	0,049	0,282	0,176	0,066	0,267	0,017	0,007
				D2					
0 – 0,2	1,129	0,482	0,282	1,776	0,687	0,290	1,640	1,003	0,663
0,2 – 0,4	2,008	0,360	0,209	0,573	0,596	0,096	1,079	0,037	0,117
0,4 – 0,6	1,200	0,142	0,219	0,499	0,288	0,062	0,278	0,401	0,034
0,6 – 0,8	0,229	0,248	0,302	0,140	0,390	0,065	0,420	0,059	0,148
0,8 – 1,0	0,535	0,092	0,254	0,555	0,082	0,047	0,109	0,032	0,029
				D3					
0 – 0,2	0,692	0,295	0,589	0,809	0,371	0,276	1,911	1,134	0,327
0,2 – 0,4	1,140	0,481	0,110	1,342	1,290	0,077	1,200	0,243	0,056
0,4 – 0,6	0,065	0,406	0,023	1,017	0,116	0,071	0,433	0,188	0,145
0,6 – 0,8	0,263	0,047	0,021	0,365	0,231	0,037	0,436	0,074	0,045
0,8 – 1,0	0,414	0,024	0,021	0,069	0,102	0,097	0,316	0,019	0,032
Média	Geral	0,416							
CV(%)		133,5							

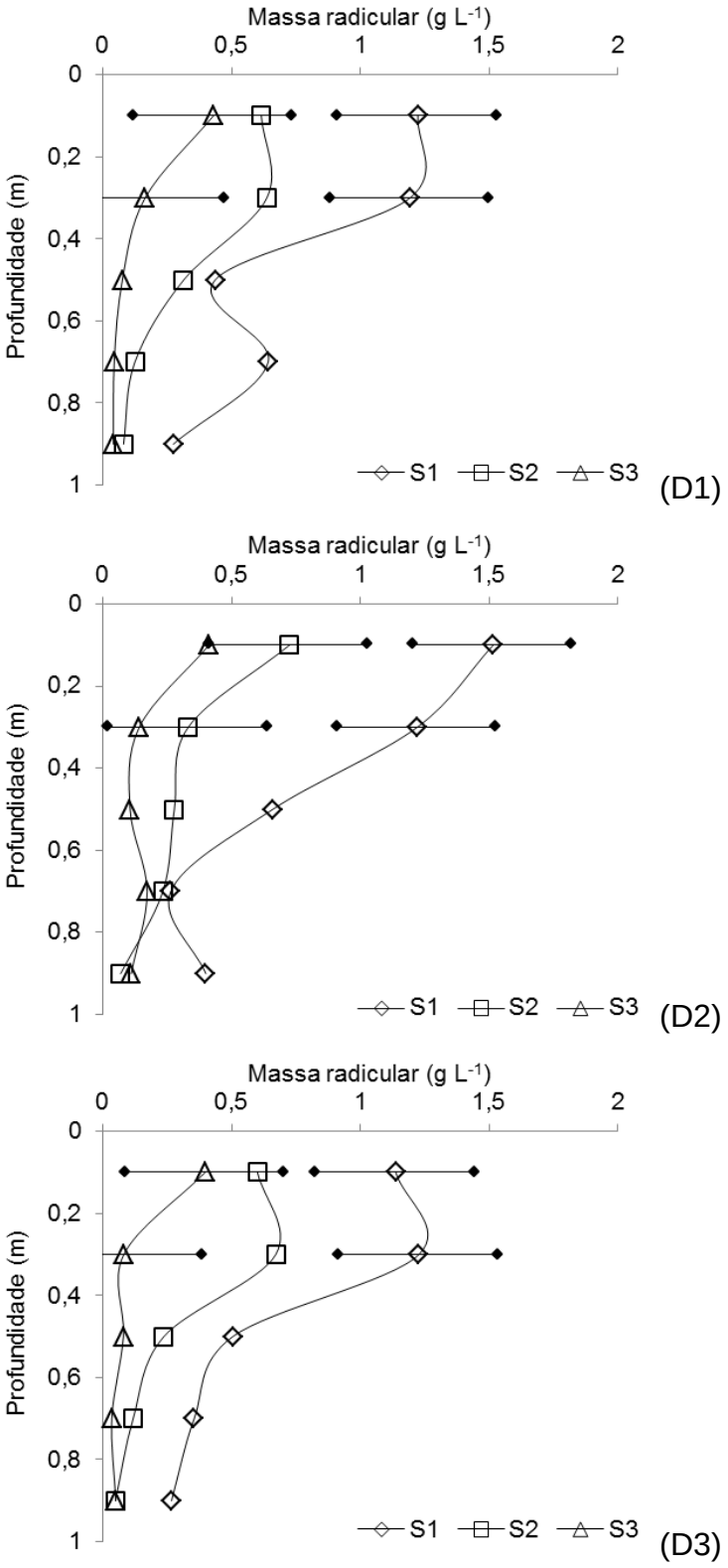


Figura 2. Massa radicular do porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da profundidade do solo, para os três quadrantes (D1 - direção da entrelinha à jusante do declive; D2 - direção da linha; e D3 - direção da entrelinha à montante do declive) e as três seções de coleta (S1 - 0,5 m; S2 - 1,5 m; e S3 - 2,5 m), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

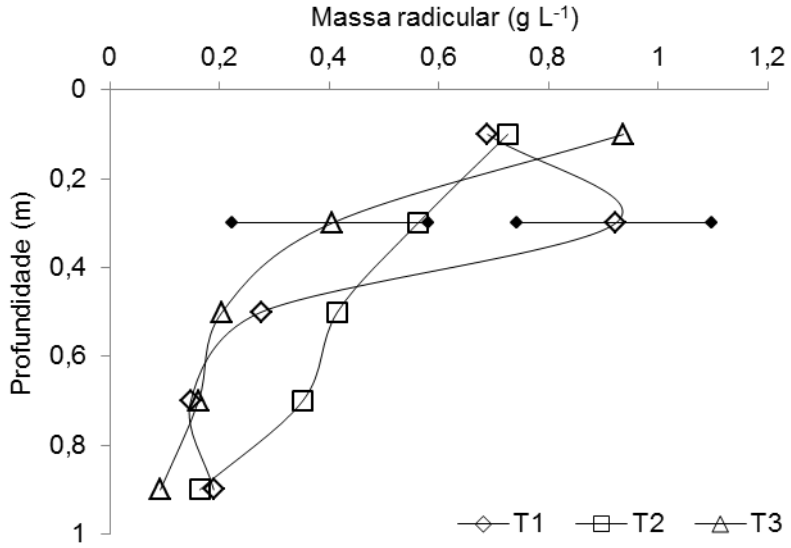


Figura 3. Massa radicular do porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da profundidade do solo, para os tratamentos T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial (ETp); e T3-aplicação de 100% da ETp, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

No Quadro 4 são apresentados valores referentes ao diâmetro médio das raízes da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. A análise de variância revelou que o diâmetro radicular variou em função da distância do tronco, conforme apresentado da Figura 4, verificando-se que em todas as camadas do solo estudadas, exceto a 60-80 cm, as médias na seção de coleta S1, mais próxima do tronco, foram significativamente superiores às verificadas na seção S3, mais distante, e, na camada 60-80 cm, superiores também às da seção S2. Revelou também que o diâmetro médio radicular no quadrante D3 do tratamento com irrigação intermediária (T2) foi superior às demais médias, tanto quando a comparação é feita com D1 e D2 do mesmo T2, quanto quando se compara com os quadrantes D3 dos tratamentos T1 e T3 (Quadro 5). Embora os microaspersores se situem no quadrante D3, não dá para atribuir à irrigação tal resultado, principalmente por ter ocorrido na lâmina intermediária, não na maior. Aqui também as complexas interações entre planta e meio, como também a elevada variabilidade dos dados, dificultam justificar inequivocamente tal fato.

Quadro 4. Valores médios do diâmetro radicular (mm) obtidos para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	0,733	0,682	0,390	0,987	0,476	0,371	0,604	0,543	0,618
0,2 – 0,4	1,162	1,235	0,337	1,276	0,502	0,508	0,992	0,312	0,483
0,4 – 0,6	0,412	0,604	0,464	0,811	0,711	0,285	0,938	0,409	0,368
0,6 – 0,8	0,404	0,444	0,413	1,319	0,501	0,466	0,511	0,497	0,323
0,8 – 1,0	0,459	0,394	0,372	0,650	0,397	0,478	0,619	0,426	0,363
				D2					
0 – 0,2	0,883	0,645	0,403	0,955	0,372	0,400	0,780	0,655	0,542
0,2 – 0,4	2,031	1,151	0,562	1,216	0,855	0,489	1,561	0,324	0,372
0,4 – 0,6	0,875	0,882	0,432	0,519	0,527	0,399	0,675	0,449	0,365
0,6 – 0,8	0,472	0,405	0,483	0,512	0,661	0,533	0,507	0,450	0,525
0,8 – 1,0	0,738	0,484	0,524	0,541	0,301	0,414	0,618	0,368	0,554
				D3					
0 – 0,2	0,852	0,442	0,545	0,674	0,559	0,451	0,733	0,728	0,472
0,2 – 0,4	1,614	0,635	0,497	1,727	1,721	0,568	1,133	0,523	0,325
0,4 – 0,6	0,354	0,742	0,407	2,051	0,644	0,366	0,818	0,482	0,297
0,6 – 0,8	0,875	0,380	0,369	0,828	0,951	0,403	0,881	0,443	0,254
0,8 – 1,0	1,439	0,336	0,316	0,598	0,540	0,636	0,776	0,397	0,334
Média	Geral	0,635							
CV(%)		61,0							

Quadro 5. Diâmetro radicular (mm) obtido para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp) e do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Irrigação \ Quadrante	D1	D2	D3
T1	0,567 aA	0,649 aA	0,534 aB
T2	0,731 aB	0,580 aB	0,583 bB
T3	0,653 aA	0,848 aA	0,573 bA

Obs.: Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e de mesma letra maiúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (DMS = 0,193).

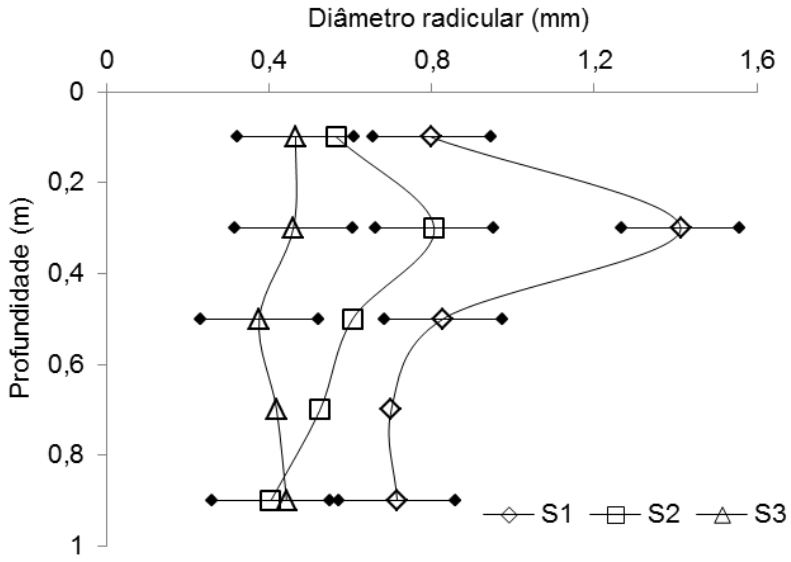


Figura 4. Diâmetro radicular médio do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da profundidade do solo, para as seções de coleta S1 (0,5 m), S2 (1,5 m) e S3 (2,5 m), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

No Quadro 6 são apresentados valores referentes a área superficial radicular da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo' em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. A área superficial radicular diminui com a distância do tronco, sendo a média de S1 estatisticamente superior à de S2 e S3 (Quadro 7), além de diminuir em profundidade. Houve efeito da irrigação sobre a área superficial das raízes, o qual ocorreu em interação com a profundidade e o quadrante de coleta, conforme apresentado na Figura 5. Nessa Figura verifica-se que a irrigação com a maior lâmina (T3) promoveu aumento significativo da superfície radicular na camada superficial (0-20 cm), tanto no quadrante D3 (onde ocorre a aplicação direta de água ocorre) quanto no D2 (parcialmente molhado e com maior benefício da redistribuição de água). Por outro lado, a ausência de irrigação (T1) propiciou maiores superfícies radiculares tanto na camada 20-40 cm do quadrante D1 (oposto ao que recebia irrigação e, portanto, com neor disponibilidade hídrica) quanto na camada mais profunda (80-100 cm) do quadrante D2. Tal fato revela que a irrigação condiciona a planta a investir mais na expansão do sistema radicular no volume de solo com maior disponibilidade de água, e/ou então a alterar seu perfil de espessura (diâmetro) radicular, sendo possivelmente essas adaptações dependentes de processos fisiológicos afetados pelo ambiente.

Quadro 6. Valores médios da área superficial radicular (cm^2 L^{-1}) obtidos para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	61,88	75,79	68,86	95,62	36,32	34,88	66,92	61,05	71,40
0,2 – 0,4	121,76	62,31	26,42	53,47	20,65	14,19	30,24	19,85	19,43
0,4 – 0,6	21,50	16,91	22,43	35,43	18,33	6,15	9,11	15,51	8,70
0,6 – 0,8	19,82	10,72	10,12	56,88	31,96	11,44	14,19	6,63	2,11
0,8 – 1,0	16,40	10,76	10,91	26,49	37,33	14,35	18,32	3,34	2,71
				D2					
0 – 0,2	56,20	44,11	48,52	133,63	107,74	37,56	126,53	71,27	79,04
0,2 – 0,4	75,21	16,08	14,43	63,31	45,44	11,27	36,42	16,41	29,41
0,4 – 0,6	44,38	9,08	16,90	21,66	33,18	12,89	22,22	23,44	10,42
0,6 – 0,8	30,86	23,03	38,43	17,69	17,69	11,49	31,86	8,44	7,21
0,8 – 1,0	54,37	19,56	45,43	49,37	18,21	8,21	13,88	7,20	8,33
				D3					
0 – 0,2	48,50	50,51	83,05	52,15	50,14	54,97	112,17	122,13	60,37
0,2 – 0,4	49,36	33,95	17,33	55,56	106,13	11,51	74,28	24,03	17,48
0,4 – 0,6	8,84	23,53	5,15	50,46	7,96	8,04	27,43	18,55	14,99
0,6 – 0,8	11,88	8,38	4,55	14,34	11,13	6,42	14,61	12,01	9,36
0,8 – 1,0	13,44	6,55	5,56	4,21	7,70	6,43	17,16	4,44	8,63
Média	Geral	32,39							
CV(%)		87,0							

Quadro 7. Área superficial radicular (cm^2 L^{-1}) obtida para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da distância do tronco (ou seção de coleta: S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

	S1	S2	S3
Área superficial radicular	44,00 a	30,57 b	22,61 b

Obs.: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (DMS = 8,09).

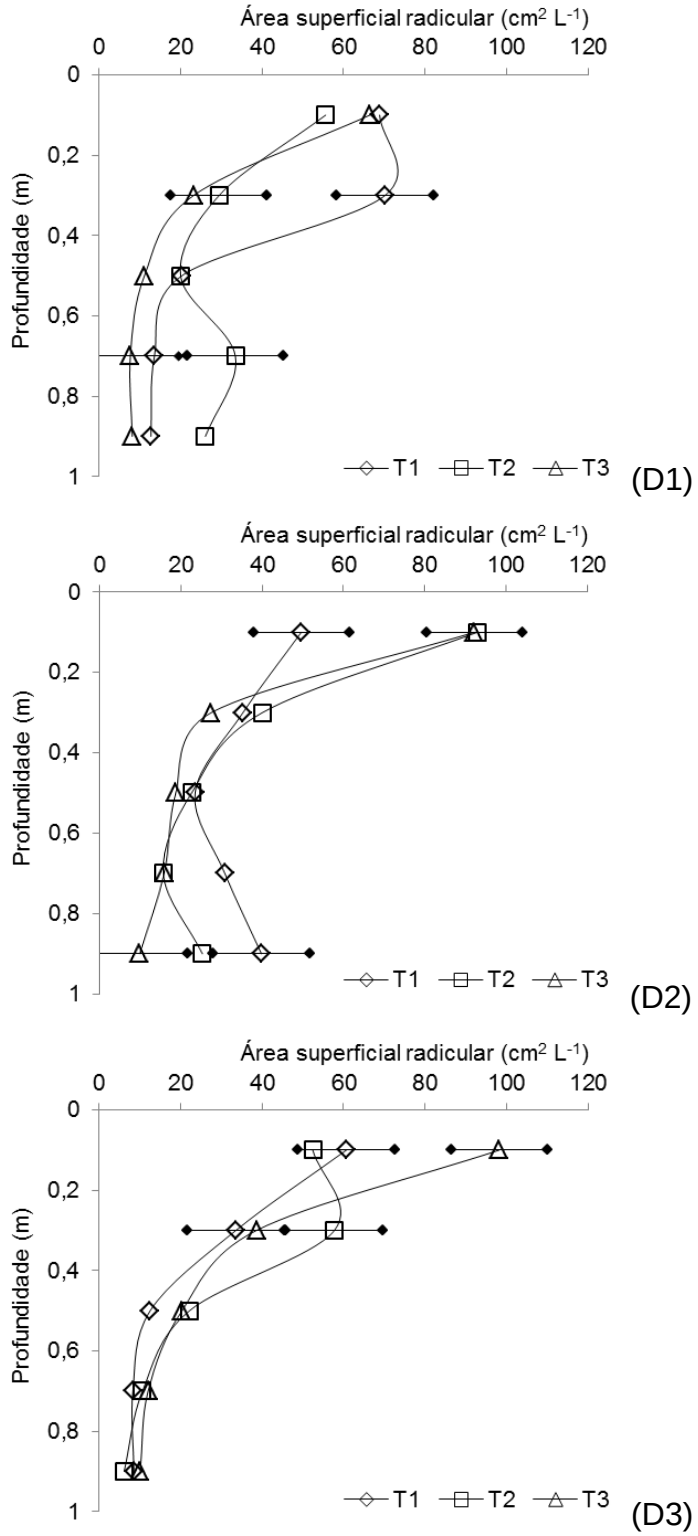


Figura 5. Área superficial radicular do porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da profundidade do solo, para os níveis de irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp) e quadrantes de coleta (D1 - direção entrelinha, à jusante do declive; D2 - direção da linha; e D3 - direção entrelinha, à montante do declive), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

No Quadro 8 são apresentados valores referentes a área superficial das raízes finas da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. Quanto à distância do tronco (ou seção de coleta), verifica-se que este fator não teve efeito sobre a área superficial das raízes mais finas (< 2 mm), diferente do que ocorreu para a área superficial radicular total. Por outro lado, a redução dos valores de área superficial das raízes finas com a profundidade foi similar à da área superficial radicular total. Quanto ao efeito da irrigação sobre a área superficial das raízes finas, este ocorreu em interação com a profundidade e com o quadrante de coleta, conforme apresentado na Figura 6. Exceto para o quadrante D1 (onde em nenhuma profundidade houve diferença entre os níveis de irrigação), o comportamento da área superficial das raízes finas foi similar ao da área superficial radicular total, com superioridade da maior lâmina de irrigação (T3) na camada superficial (0-20 cm) dos quadrantes D2 e D3, e superioridade do tratamento não irrigado (T1) na camada profunda (80-100 cm) do quadrante D2.

Quadro 8. Valores médios da área superficial de raízes finas (cm^2 L^{-1}) obtidos para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	37,59	48,42	51,57	48,55	25,14	30,33	49,89	46,64	46,49
0,2 – 0,4	46,93	19,14	19,99	23,85	12,25	9,05	13,72	16,91	16,60
0,4 – 0,6	18,93	11,59	17,55	15,67	7,13	5,48	3,93	13,41	7,63
0,6 – 0,8	17,01	9,80	9,21	19,17	26,76	10,36	9,01	6,02	1,92
0,8 – 1,0	10,82	9,93	10,00	22,22	32,54	13,33	10,04	2,99	2,53
				D2					
0 – 0,2	27,78	25,11	40,76	60,98	84,92	28,86	77,46	38,15	63,34
0,2 – 0,4	17,45	9,31	10,60	24,16	18,57	8,51	8,93	14,24	22,76
0,4 – 0,6	18,87	5,39	12,83	11,27	23,97	11,93	12,84	13,99	7,91
0,6 – 0,8	23,07	17,40	33,48	14,61	8,40	10,55	19,12	7,71	5,11
0,8 – 1,0	40,65	17,85	41,20	35,02	15,98	7,60	11,62	6,40	7,73
				D3					
0 – 0,2	18,15	41,63	64,88	32,80	39,15	45,63	55,64	85,00	51,74
0,2 – 0,4	15,94	22,00	15,17	15,52	12,02	6,83	26,63	16,40	15,46
0,4 – 0,6	6,11	9,82	4,73	9,82	4,46	6,87	16,50	16,06	10,43
0,6 – 0,8	8,14	7,41	4,12	2,83	4,03	5,71	4,75	10,97	8,40
0,8 – 1,0	5,01	5,86	5,05	3,89	4,00	3,86	10,50	4,00	7,70
Média	Geral	19,88							
CV(%)		80,1							

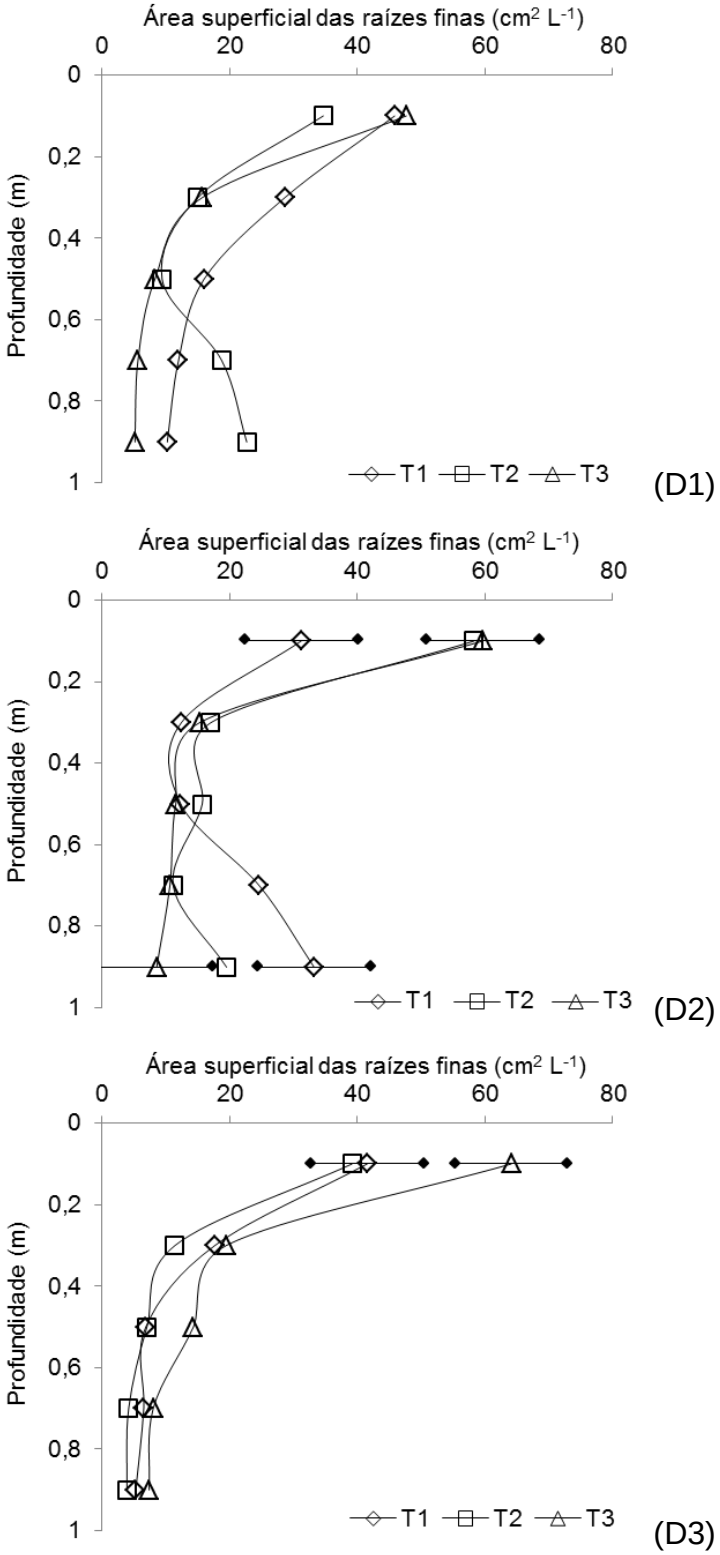
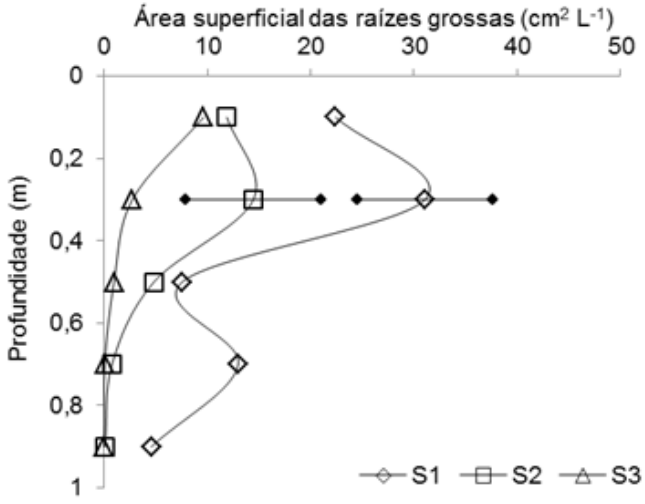


Figura 6. Área superficial das raízes finas do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da profundidade do solo, para os níveis de irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapo-transpiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp) e quadrantes de coleta (D1-direção entrelinha, à jusante do declive; D2-direção da linha; e D3-direção entrelinha, à montante do declive), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

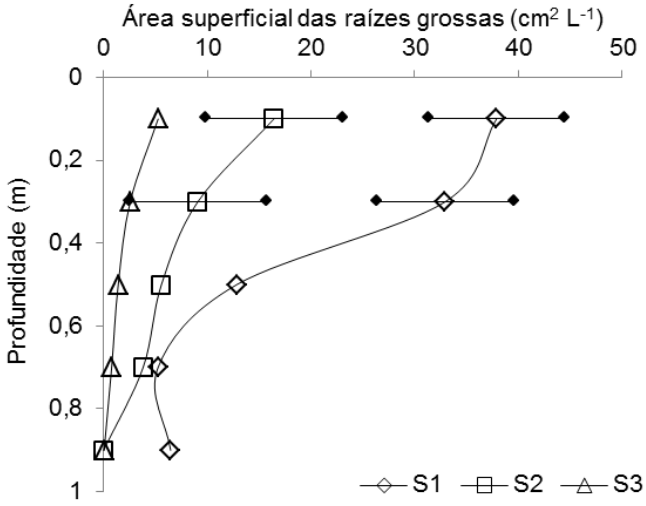
No Quadro 9 são apresentados valores referentes a área superficial das raízes grossas da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. A análise de variância revela que a área superficial das raízes grossas (>2 mm) não foi afetada pela irrigação, mas variou em função da profundidade, da distância da planta e do quadrante de coleta, com mutua interação entre estes fatores (Figura 7). Os valores foram maiores nas primeiras seções de coleta e até 40 cm de profundidade. O comportamento geral área superficial das raízes grossas é bastante semelhante ao verificado para a massa radicular total (Figura 2), revelando ser esta fração de diâmetro radicular (>2 mm) a responsável pela maior parte da biomassa das raízes.

Quadro 9. Valores médios da área superficial radicular de raízes grossas ($cm^2\ L^{-1}$) obtidos para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

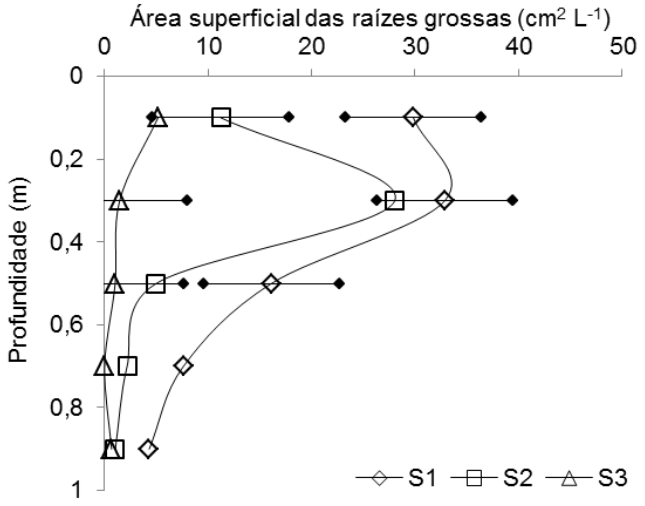
Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	18,95	20,07	9,13	38,01	7,42	0,88	10,31	8,19	18,90
0,2 – 0,4	52,92	36,94	3,41	25,58	6,39	3,94	14,71	0,04	0,86
0,4 – 0,6	0,27	3,87	2,71	17,90	10,39	0,07	4,54	0,22	0,12
0,6 – 0,8	0,86	0,00	0,00	34,11	2,30	0,20	4,01	0,01	0,00
0,8 – 1,0	4,41	0,00	0,00	2,52	0,31	0,00	6,79	0,04	0,00
				D2					
0 – 0,2	23,24	12,82	2,70	53,03	10,12	4,82	37,37	26,34	8,27
0,2 – 0,4	51,58	5,32	2,62	21,69	21,94	1,53	25,52	0,00	3,57
0,4 – 0,6	22,49	3,10	2,71	8,59	6,16	0,00	7,47	7,48	1,54
0,6 – 0,8	4,57	3,54	0,83	1,58	7,87	0,00	9,62	0,04	1,52
0,8 – 1,0	8,59	0,00	0,17	9,78	0,03	0,00	1,05	0,00	0,00
				D3					
0 – 0,2	27,87	3,03	9,08	14,91	5,76	3,44	46,72	24,96	3,01
0,2 – 0,4	30,87	8,81	0,65	37,47	69,85	3,69	30,29	5,48	0,08
0,4 – 0,6	1,49	11,17	0,00	38,28	2,99	0,17	8,64	0,86	2,97
0,6 – 0,8	3,23	0,07	0,00	10,97	6,51	0,08	8,71	0,01	0,00
0,8 – 1,0	7,40	0,00	0,02	0,06	3,19	2,08	5,54	0,00	0,00
Média	Geral	9,14							
CV(%)		175,1							



(D1)



(D2)



(D3)

Figura 7. área superficial radicular de raízes grossas do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da profundidade do solo, para os três quadrantes (D1 - direção da entrelinha à jusante do declive; D2 - direção da linha; e D3 - direção da entrelinha à montante do declive) e as três seções de coleta (S1 - 0,5 m; S2 - 1,5 m; e S3 - 2,5 m), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

No Quadro 10 são apresentados valores referentes ao comprimento radicular da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. Verifica-se que o comportamento do comprimento radicular é idêntico ao verificado para a área superficial das raízes finas, não sendo afetado pela distância do tronco, mas ocorrendo a redução dos valores em profundidade, e tendo efeito da irrigação em interação com o quadrante de coleta e com a própria profundidade. Tal comportamento é expresso da Figura 8, muito similar à Figura 6. Em ambas estas Figuras, verifica-se algumas situações em que houve redução da densidade radicular (comprimento e área superficial) em camadas intermediárias (60–80 cm), com nova elevação em camada imediatamente inferiores (80–100 cm). De acordo com Souza et al. (2004), o fato de o comprimento de raízes ser menor na profundidade intermediária que na camada inferior, indica a dificuldade e o afunilamento que sofrem as raízes em transpor essa camada.

Segundo Abrêu (2005), a maior concentração de raízes do limoeiro ‘Cravo’ está na camada de 0,1 a 0,2 m (62,4% do comprimento das raízes), representando 39,1% do comprimento das raízes na profundidade de 0,50 m, seguida da camada de 0,0 a 0,1 m, com 23,3%; as demais camadas, 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4 e 0,4 a 0,5 m, não diferenciaram entre si. Isso ocorre provavelmente, pois na faixa de solo de 0,0 a 0,2 m concentra-se maior quantidade de água proveniente de chuva e de irrigação e maiores aportes de nutrientes disponíveis às raízes, o que deve assegurar à planta maior capacidade de exploração do solo e, por conseguinte, maior absorção de água e nutrientes.

Em relação aos menores volores no verificado no D1 em relação ao D2 e D3, este último onde está localização o microaspersor. Segundo Simões (2007), quando a microaspersão é usada, o sistema radicular diminui conforme ocorre o afastamento do microaspersor e do tronco da planta. No entanto, não houve diferença significativa entre a aplicação de água e a profundidade; entre a seção de coleta e a profundidade; entre a seção de coleta e o quadrante da planta e entre a profundidade e o quadrante da planta.

Quadro 10. Valores médios do comprimento radicular (cm L^{-1}) obtidos para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), da quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	262,2	405,4	562,3	488,8	226,2	296,4	362,2	366,7	345,3
0,2 – 0,4	343,7	168,0	233,3	209,6	97,6	91,0	96,2	194,6	133,4
0,4 – 0,6	189,9	98,0	159,6	102,1	56,6	56,8	30,5	110,5	67,5
0,6 – 0,8	133,0	74,9	75,9	114,4	178,8	78,2	68,4	44,5	16,8
0,8 – 1,0	84,9	76,9	84,4	122,4	250,6	88,9	92,8	22,2	24,0
				D2					
0 – 0,2	226,4	199,4	384,7	503,1	867,6	294,5	522,8	371,6	469,0
0,2 – 0,4	121,7	62,3	79,3	190,3	176,4	85,9	69,5	191,5	233,9
0,4 – 0,6	138,3	40,4	90,1	95,5	194,6	83,5	116,2	175,1	89,4
0,6 – 0,8	177,9	144,7	248,9	117,2	79,7	73,2	172,0	66,8	42,0
0,8 – 1,0	270,7	127,6	278,3	274,6	131,0	47,8	82,7	65,2	51,7
				D3					
0 – 0,2	147,6	382,3	489,6	251,2	291,3	414,4	463,6	620,2	402,6
0,2 – 0,4	102,5	212,4	110,8	100,1	131,8	60,9	246,2	144,0	144,8
0,4 – 0,6	98,4	124,1	38,7	78,5	33,8	72,0	140,3	96,3	113,6
0,6 – 0,8	31,4	67,7	37,0	26,4	37,7	48,0	49,7	72,7	72,7
0,8 – 1,0	26,0	54,1	37,7	22,8	42,0	30,3	68,2	33,7	69,9
Média	Geral	164,8							
CV(%)		78,4							

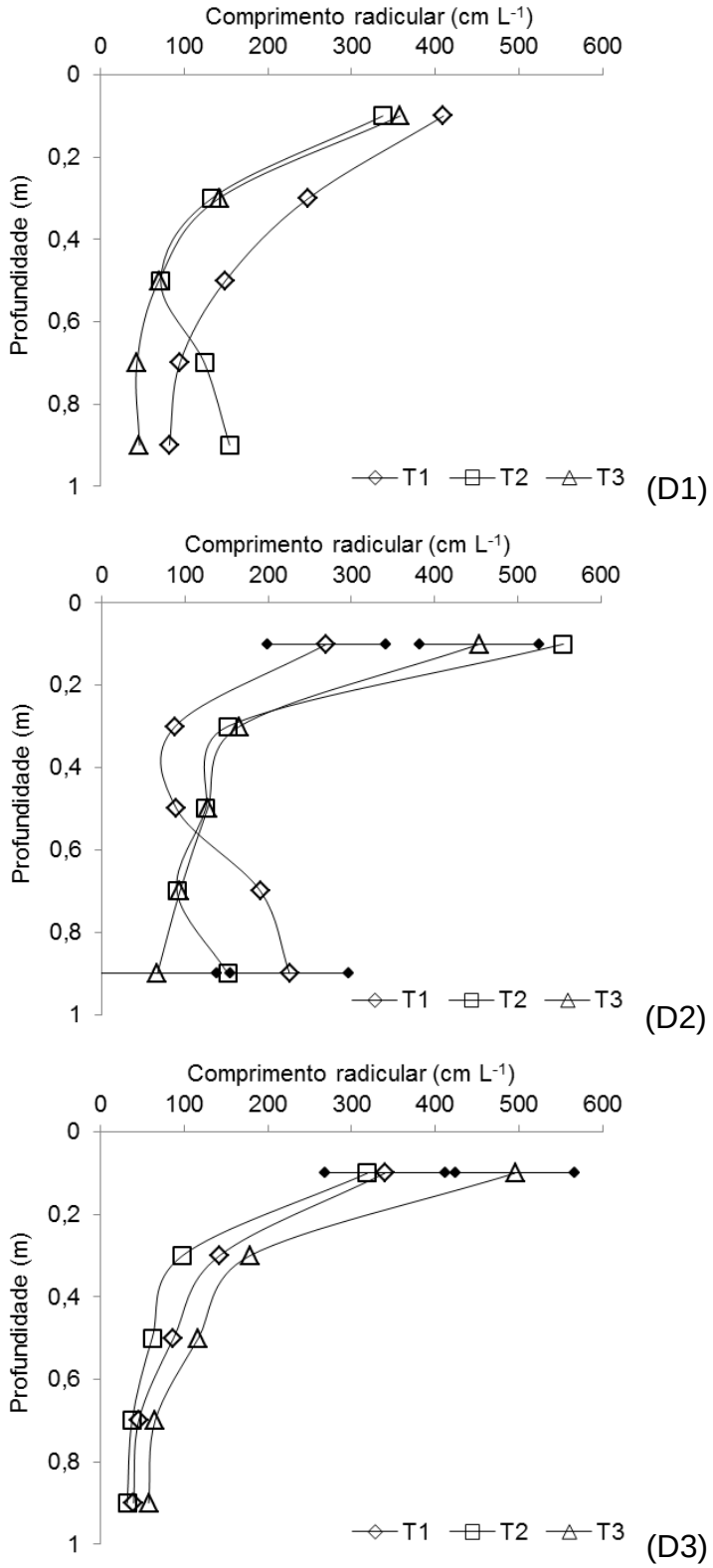


Figura 8. Comprimento radicular do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da profundidade do solo, para os níveis de irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp) e quadrantes de coleta (D1 - direção entrelinha, à jusante do declive; D2 - direção da linha; e D3 - direção entrelinha, à montante do declive), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

No Quadro 11 são apresentados valores referentes ao comprimento das raízes finas da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. O comportamento é idêntico ao verificado para comprimento radicular total, sem efeito da distância do tronco e com efeito do nível de fornecimento de água, em interação com a profundidade e o quadrante da planta, conforme Figura 9 (similar à Figura 8, com valores médios ligeiramente menores).

Quadro 11. Valores médios do comprimento de raízes finas (cm L^{-1}) obtidos para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	244,5	391,5	552,3	462,3	217,9	295,3	351,9	356,6	330,0
0,2 – 0,4	300,5	147,0	229,3	192,6	90,3	86,7	82,7	194,5	132,3
0,4 – 0,6	189,5	94,0	155,9	86,2	50,1	56,7	26,9	110,1	67,3
0,6 – 0,8	132,1	74,8	75,9	94,2	175,8	77,9	63,8	44,4	16,8
0,8 – 1,0	81,3	76,9	84,4	119,1	250,1	88,9	85,0	22,1	24,0
				D2					
0 – 0,2	205,6	192,0	382,2	465,9	859,4	288,7	489,6	351,5	460,3
0,2 – 0,4	89,4	57,7	75,5	172,3	160,3	84,4	49,8	191,5	218,8
0,4 – 0,6	121,5	36,5	87,2	87,7	188,6	83,5	113,2	169,5	83,8
0,6 – 0,8	172,6	141,8	247,7	115,3	72,6	73,2	160,6	66,7	42,7
0,8 – 1,0	262,6	127,5	278,0	263,4	130,8	47,7	81,6	65,1	51,7
				D3					
0 – 0,2	123,7	379,1	478,7	237,9	285,2	410,4	429,9	601,4	398,5
0,2 – 0,4	80,0	204,8	110,0	75,4	89,1	59,1	222,5	138,9	144,7
0,4 – 0,6	96,3	113,1	38,7	50,7	29,9	71,7	133,1	95,0	110,1
0,6 – 0,8	28,2	67,6	37,0	14,2	30,6	47,9	42,3	72,7	72,7
0,8 – 1,0	20,0	54,1	37,7	22,7	38,0	27,8	64,0	33,7	69,9
Média	Geral	157,3							
CV(%)		81,1							

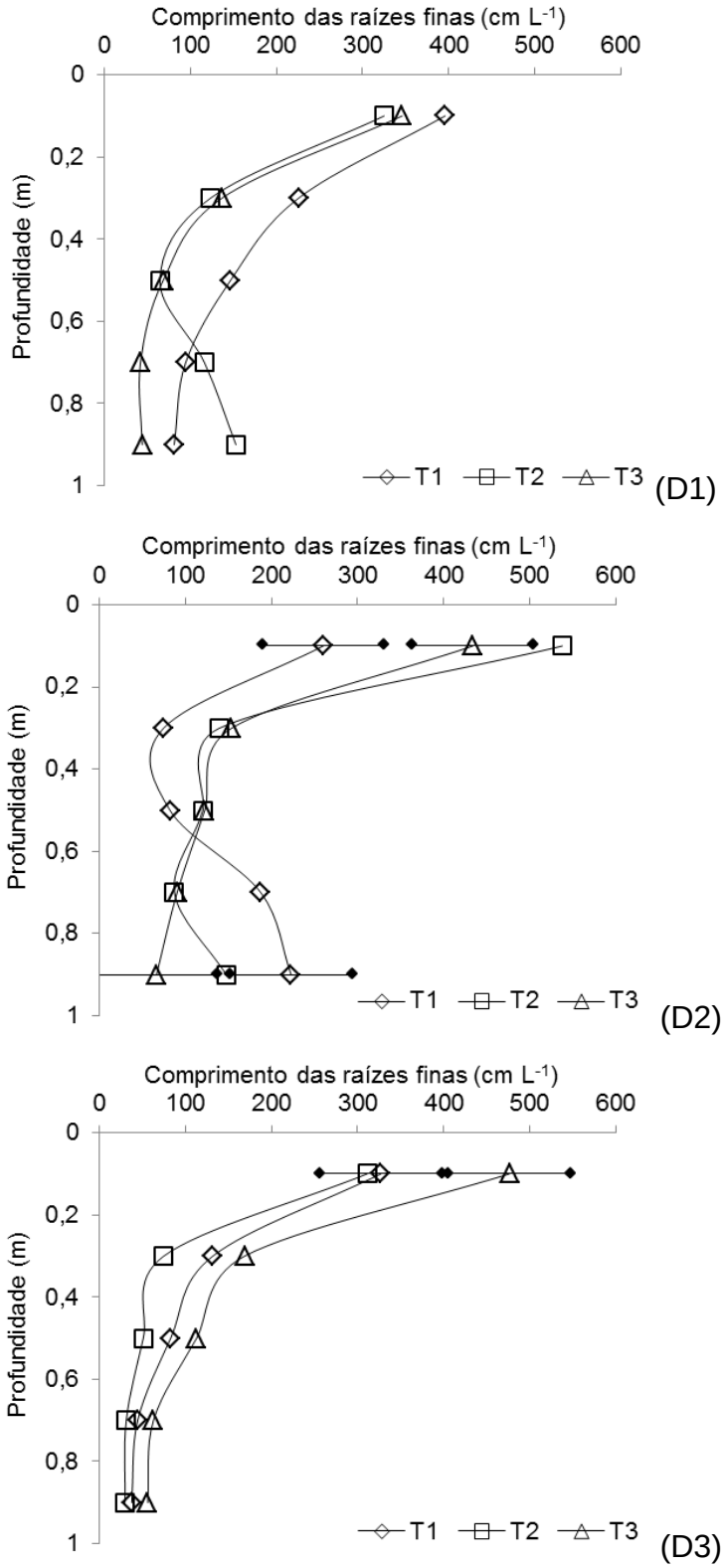


Figura 9. Comprimento das raízes finas do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da profundidade do solo, para os níveis de irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp) e quadrantes de coleta (D1-direção entrelinha, à jusante do declive; D2-direção da linha; e D3-direção entrelinha, à montante do declive), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

No Quadro 12 são apresentados valores referentes ao comprimento das raízes grossas da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. A análise de variância revela efeitos da seção de coleta e do quadrante da planta, ambas em interação com a profundidade, conforme Figuras 10 e 11, respectivamente. O crescimento dessas raízes grossas é maior na seção S1, próxima ao tronco, e nas menores profundidades, até 40 cm, podendo-se associar tal comportamento à função de dar sustentação física à planta..

Quadro 12. Valores médios do comprimento de raízes grossas (cm L^{-1}) obtidos para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	17,5	13,7	9,7	26,3	8,2	1,0	10,2	9,9	15,1
0,2 – 0,4	40,9	20,6	3,8	16,9	7,3	4,4	13,3	0,0	1,1
0,4 – 0,6	0,3	3,9	3,6	15,9	6,5	0,1	3,6	0,3	0,2
0,6 – 0,8	0,9	0,0	0,0	20,2	3,0	0,3	4,7	0,0	0,0
0,8 – 1,0	3,5	0,0	0,0	3,3	0,4	0,0	7,8	0,1	0,0
				D2					
0 – 0,2	20,7	6,9	2,3	35,0	7,7	5,7	33,0	19,9	8,4
0,2 – 0,4	32,1	4,5	3,8	15,3	15,8	1,5	19,6	0,0	17,5
0,4 – 0,6	16,7	3,9	2,9	7,7	5,9	0,0	3,0	5,5	7,9
0,6 – 0,8	5,2	2,8	1,1	1,9	7,1	0,0	11,3	0,1	1,6
0,8 – 1,0	8,1	0,0	0,2	10,9	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0
				D3					
0 – 0,2	23,8	3,0	10,8	13,3	6,1	3,9	33,5	18,5	4,0
0,2 – 0,4	22,4	7,5	0,8	24,6	39,6	1,8	20,9	5,1	0,1
0,4 – 0,6	2,0	11,0	0,0	27,8	3,9	0,3	7,1	1,3	3,5
0,6 – 0,8	3,2	0,1	0,0	12,2	7,1	0,1	7,4	0,0	0,0
0,8 – 1,0	6,0	0,0	0,0	0,1	4,0	2,5	4,3	0,0	0,0
Média	Geral	7,4							
CV(%)		146,8							

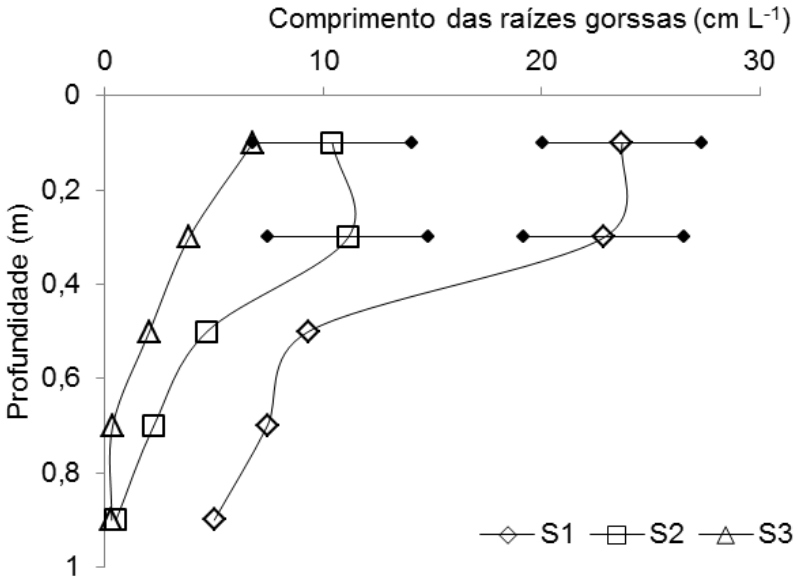


Figura 10. Comprimento de raízes grossas do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da profundidade do solo, para as seções de coleta S1 (0,5 m), S2 (1,5 m) e S3 (2,5 m), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

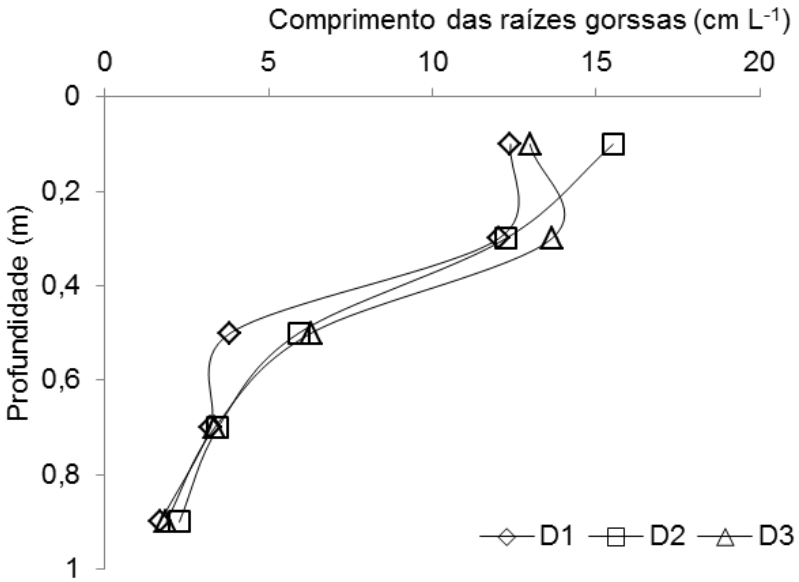


Figura 11. Comprimento de raízes grossas do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da profundidade do solo, para os quadrantes de coleta D1 (direção entrelinha, à jusante do declive), D2 (direção da linha) e D3 (direção entrelinha, à montante do declive), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

No Quadro 13 são apresentados valores referentes ao volume radicular da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. Para esta variável houve efeito simples da seção de coleta e da profundidade, conforme apresentado, respectivamente, no quadro 14 e na Figura 12, sendo o volume radicular maior na porção superficial do solo (até 40 cm de profundidade) e na S1.

Quadro 13. Valores médios do volume radicular ($cm^3\ L^{-1}$) obtidos para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	2,622	3,256	1,447	5,833	0,939	0,464	1,813	1,434	3,401
0,2 – 0,4	11,225	6,768	0,558	4,274	0,724	0,427	1,764	0,179	0,335
0,4 – 0,6	0,253	0,510	0,408	2,096	1,488	0,075	0,543	0,219	0,115
0,6 – 0,8	0,322	0,140	0,121	6,284	0,630	0,196	0,466	0,098	0,026
0,8 – 1,0	0,592	0,145	0,124	0,659	0,485	0,206	0,641	0,048	0,026
				D2					
0 – 0,2	2,889	3,720	0,841	12,061	2,433	0,744	5,347	3,892	1,812
0,2 – 0,4	8,867	0,734	0,400	8,333	3,886	0,258	3,503	0,130	0,333
0,4 – 0,6	3,381	0,295	0,456	1,028	0,898	0,183	1,755	1,134	0,100
0,6 – 0,8	0,700	0,593	0,605	0,370	0,835	0,167	0,949	0,129	0,219
0,8 – 1,0	1,546	0,256	0,672	1,342	0,232	0,127	0,281	0,088	0,140
				D3					
0 – 0,2	3,681	0,887	1,736	2,221	1,260	0,966	7,535	4,952	1,010
0,2 – 0,4	4,583	1,369	0,347	6,648	17,224	0,775	8,820	0,792	0,215
0,4 – 0,6	0,153	1,097	0,072	5,821	0,307	0,114	1,134	0,447	0,323
0,6 – 0,8	0,576	0,106	0,054	0,934	0,569	0,084	1,088	0,213	0,111
0,8 – 1,0	0,963	0,079	0,069	0,111	0,269	0,204	0,806	0,055	0,094
Média	Geral	1,659							
CV(%)		221,6							

Quadro 14. Volume radicular ($cm^3\ L^{-1}$) obtido para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da distância do tronco (ou seção de coleta: S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

	S1	S2	S3
Área superficial radicular	1,194 a	0,686 b	0,278 b

Obs.: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (DMS = 0,458).

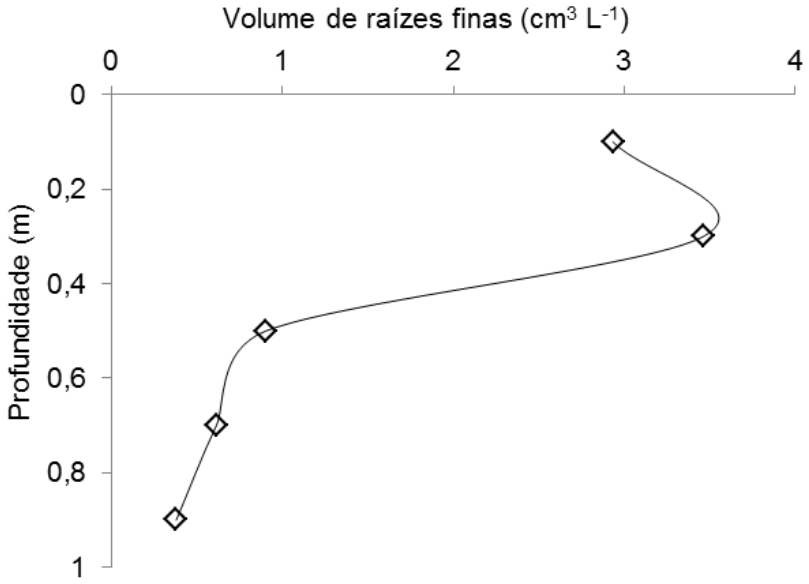


Figura 12. Volume radicular (cm^3 L^{-1}) do porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da profundidade do solo, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

No Quadro 15 são apresentados valores referentes ao volume das raízes finas da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. Quanto ao efeito da distância do tronco o volume das raízes finas segue esse mesmo padrão do volume radicular total, com maior valor próximo ao tronco (Quadro 16). Quanto à profundidade, o efeito ocorreu em interação com o nível de aplicação de água, conforme Figura 13. Quando a maior lâmina de água é fornecida via irrigação (T3), na primeira camada de solo (0-20 cm) ocorre maior densidade de volume radicular, comparado à T1 (sem irrigação) e à T2 (irrigação intermediária..

Quadro 15. Valores médios do volume radicular de raízes finas ($cm^3\ L^{-1}$) obtidos para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	0,789	0,731	0,740	0,817	0,370	0,403	0,900	0,851	0,812
0,2 – 0,4	0,955	0,381	0,302	0,397	0,251	0,138	0,286	0,177	0,278
0,4 – 0,6	0,234	0,175	0,245	0,418	0,115	0,071	0,073	0,207	0,109
0,6 – 0,8	0,253	0,140	0,121	0,517	0,485	0,185	0,181	0,097	0,026
0,8 – 1,0	0,151	0,145	0,124	0,504	0,468	0,206	0,155	0,046	0,026
				D2					
0 – 0,2	0,463	0,453	0,585	1,097	1,205	0,409	1,559	0,608	1,099
0,2 – 0,4	0,458	0,210	0,255	0,457	0,317	0,136	0,234	0,130	0,270
0,4 – 0,6	0,382	0,092	0,252	0,206	0,369	0,183	0,207	0,208	0,074
0,6 – 0,8	0,359	0,231	0,557	0,264	0,115	0,167	0,279	0,127	0,071
0,8 – 1,0	0,752	0,256	0,663	0,618	0,231	0,127	0,202	0,088	0,140
				D3					
0 – 0,2	0,426	0,633	1,111	0,701	0,768	0,719	1,119	1,497	0,826
0,2 – 0,4	0,473	0,381	0,305	0,454	0,273	0,112	0,517	0,297	0,211
0,4 – 0,6	0,061	0,136	0,072	0,280	0,122	0,105	0,269	0,400	0,118
0,6 – 0,8	0,305	0,103	0,054	0,090	0,089	0,080	0,116	0,213	0,111
0,8 – 1,0	0,157	0,079	0,068	0,108	0,066	0,064	0,224	0,055	0,094
Média	Geral	0,346							
CV(%)		84,9							

Quadro 16. Volume de raízes finas ($cm^3\ L^{-1}$) do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da distância do tronco (ou seção de coleta: S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

	S1	S2	S3
Volume de raízes finas	0,433 a	0,320 b	0,285 b

Obs.: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (DMS = 0,084).

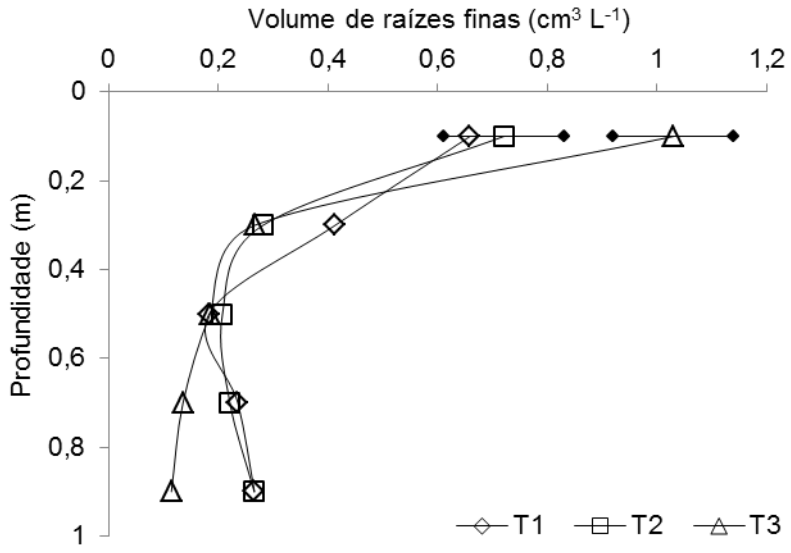


Figura 13. Volume de raízes finas do porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ sob copa de laranjeira ‘Folha Murcha’ em função da profundidade do solo, para os níveis de irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

No Quadro 17 são apresentados valores referentes ao volume das raízes grossas da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ em função da irrigação, quadrante da planta, profundidade e da seção de coleta. A análise de variância revelou efeito da distância da planta e da profundicade, em interação, conforme Figura 14. O volume das raízes grossas se concentra na seção S1, próxima ao tronco, e nas primeiras camadas, até 40 cm de profundidade. Este maior desenvolvimento de raízes grossas até 0,5 m de distância do tronco estpa de acordo com o desenvolvimento das plantas, já que as raízes grossas são responsáveis pela fixação e suporte da planta ao solo, estando então mais próxima ao caule.

Quadro 17. Valores médios do volume radicular de raízes grossas (cm^3 L^{-1}) obtidos para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da irrigação (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp), do quadrante da planta (D1- direção da entrelinha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entrelinha à montante do declive), da seção de coleta (S1- 0,5 m, S2- 1,5 m e S3 – 2,5 m) e da profundidade, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Profundidade		T1			T2			T3	
(m)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
				D1					
0 – 0,2	1,833	2,525	0,707	5,016	0,569	0,061	0,913	0,583	2,589
0,2 – 0,4	6,728	6,020	0,257	3,877	0,473	0,289	1,478	0,002	0,057
0,4 – 0,6	0,019	0,335	0,164	1,678	1,374	0,004	0,469	0,012	0,007
0,6 – 0,8	0,069	0,000	0,000	5,767	0,144	0,011	0,284	0,001	0,000
0,8 – 1,0	0,441	0,000	0,000	0,155	0,017	0,000	0,486	0,002	0,000
				D2					
0 – 0,2	2,425	2,781	0,256	8,449	1,228	0,334	3,788	3,284	0,712
0,2 – 0,4	8,191	0,524	0,145	3,402	3,319	0,122	3,269	0,000	0,063
0,4 – 0,6	2,999	0,203	0,205	0,822	0,529	0,000	1,548	0,926	0,026
0,6 – 0,8	0,341	0,362	0,048	0,107	0,720	0,000	0,670	0,002	0,148
0,8 – 1,0	0,794	0,000	0,010	0,725	0,002	0,000	0,080	0,000	0,000
				D3					
0 – 0,2	3,255	0,253	0,625	1,521	0,492	0,247	6,415	3,456	0,183
0,2 – 0,4	4,110	0,988	0,042	6,084	12,298	0,663	4,240	0,494	0,004
0,4 – 0,6	0,092	0,960	0,000	5,541	0,185	0,009	0,866	0,046	0,204
0,6 – 0,8	0,271	0,003	0,000	0,844	0,480	0,004	0,972	0,001	0,000
0,8 – 1,0	0,806	0,000	0,001	0,003	0,203	0,140	0,582	0,000	0,000
Média	Geral	1,160							
CV(%)		228,1							

Todos esses dados mostram-se coerentes quando confrontados com os de outros autores, como Moreira (1983), que evidencia a localização superficial das raízes da laranjeira, apresentando cerca de 50% das raízes nos primeiros 0,15 m do solo e mais 10% até a profundidade de 0,30 m. Já Simões (2007) relata que houve concentração de grande parte das raízes na camada superficial do solo até 0,625 m. Foi observado um desenvolvimento lateral do sistema radicular, com alta densidade de raízes na camada superficial com até 2 m de distância da planta.

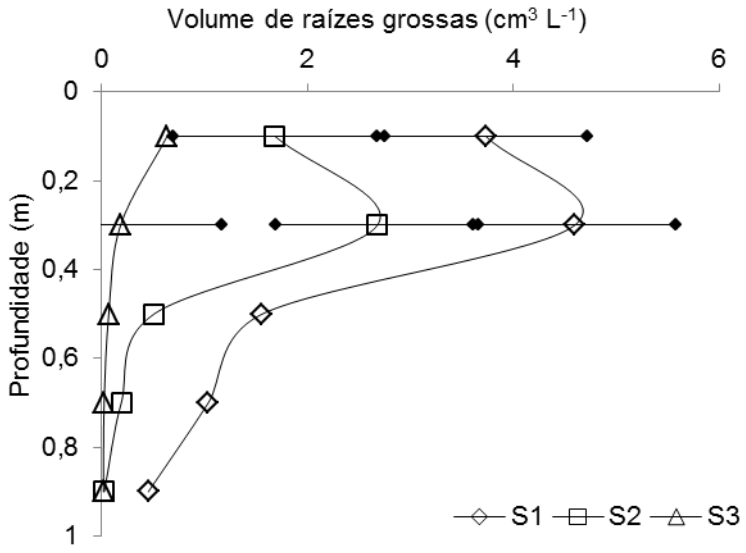


Figura 14. Volume de raízes finas do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função da profundidade do solo, para as seções de coleta S1 (0,5 m), S2 (1,5 m) e S3 (2,5 m), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.
Obs.: Barras horizontais representam o desvio mínimo significativo do teste de Tukey a 5% de probabilidade que, não sobrepostas, indicam diferença entre as médias.

4.2 Estoque de biomassa do sistema radicular

4.2.1 Volume total de solo explorado pela planta

No Quadro 18 são apresentados os valores médios estimados de estoque radicular da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo' para todo o volume de solo explorado por uma planta até 1 m de profundidade (ou seja, para 25 m^3 de solo). Tal estoque é representado tanto pela massa seca total das raízes quanto pelo volume das raízes grossas (2-8 mm) e finas (0-2 mm). Embora a análise de variância dos dados não tenha evidenciado diferenças significativas, os valores médios de massa seca radicular foram decrescentes com o aumento da lâmina de água da irrigação (8,50 kg $planta^{-1}$ para o tratamento T1, sem irrigação; 7,47 kg $planta^{-1}$ para o tratamento T2, com fornecimento de 64% da demanda de água - ETp; e 6,75 kg $planta^{-1}$ para T3, com fornecimento de 100% da ETp). Se, por um lado, a irrigação pode trazer uma condição de disponibilidade de água que torne desnecessário maiores investimentos da planta em proliferação radicular (seja aprofundamento, expansão lateral ou aumento de densidade de raízes no solo), por outro a variabilidade que se verifica para as variáveis em questão indica a necessidade de maior número de repetições, o que aumentaria os graus de liberdade e reduziria o quadrado médio do resíduo,

podendo tomar significativas diferenças entre os tratamentos que antes não eram evidentes.

Em revisão da literatura, não foram encontrados trabalhos relacionando o estoque de biomassa radicular com manejo agrícola de citros, ou outras fruteiras perenes, sendo mais comum a quantificação do estoque de carbono na biomassa radicular. Amaral (2011) relatou que em um experimento envolvendo uma área cultivada com abacaxizeiro 'Pérola' no semiárido mineiro, a quantidade de carbono alocado nas raízes foi baixa tendo em vista que o abacaxizeiro é uma planta que possui um sistema radicular pouco denso e limitado à camada superficial (0 a 20 cm). Os estoques de C da biomassa radicular do abacaxizeiro'Pérola' apresentaram tendência de superioridade quando aplicada a lâmina de 70% ECA.

Quadro 18. Valores médios do estoque radicular (EstRad) de toda a planta, obtidos a partir da massa seca das raízes, e do estoque radicular de raízes grossas e finas (EstRadG; EstRadF), obtidos a partir do volume das raízes, obtidos para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função das lâminas de água (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Variável \ Irrigação	T1	T2	T3	Média Geral	CV(%)
EstRad (g planta^{-1})	8498,9	7474,0	6744,7	7572,5	22,6
EstRadG (cm^{-3} planta^{-1})	8675,9	7554,8	7925,8	8052,2	17,5
EstRadF (cm^{-3} planta^{-1})	18117,7	23476,5	14694,7	18763,0	55,8

Obs: Variáveis sem efeito significativo dos tratamentos pela análise de variância.

4.2.2 Volume de solo explorado pela planta em cada quadrante

No Quadro 19 são apresentados os valores médios de estoque radicular referentes à massa seca das raízes e ao volume das raízes grossas e finas de acordo com o sistema de irrigação empregado e a direção de plantio. Da mesma forma que discutido no tópico anterior, apesar de haver a tendência de diminuição de raízes com o aumento da lâmina de água aplicada, não houve nenhum efeito significativo dos tratamentos de irrigação, e também nenhum efeito do quadrante

de coleta, tendo sido verificado valores elevados de coeficiente de variação (CV%). Os altos valores de coeficientes de variação verificados neste trabalho (Quadro 19 e 20) já foram mencionados em outros trabalhos e podem ser explicados devido à alta variabilidade espacial encontrada, sendo essa uma característica recorrente nos estudos sobre atividade e distribuição radicular das plantas (Zaccheo et al., 2012).

Quadro 19. Valores médios de estoque radicular (EstRad) nos quadrantes, obtidos a partir da massa seca das raízes, e do estoque radicular de raízes grossas e finas (EstRadG; EstRadF), obtidos a partir do volume das raízes, obtidos para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função das lâminas de água (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp) e dos quadrantes da planta (D1- direção da entre linha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entre linha à montante do declive), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Irrigação	Quadrante	EstRad	EstRadG	EstRadF
T1	D1	2633,3	6279,4	2056,1
T1	D2	2201,5	4528,9	2389,0
T1	D3	1462,5	2780,5	1841,8
T2	D1	1861,7	4010,7	1826,4
T2	D2	1857,7	5109,8	2094,0
T2	D3	1896,8	9246,3	1540,4
T3	D1	1156,3	2489,4	1668,0
T3	D2	1883,1	4023,1	1955,8
T3	D3	1822,3	4159,2	2346,3
T1	D1D2D3	2099,1	4529,6	2095,6
T2	D1D2D3	1872,1	6122,3	1820,3
T3	D1D2D3	1620,6	3557,2	1990,0
T1T2T3	D1	1883,8	4259,8	1850,2
T1T2T3	D2	1980,8	4553,9	2146,2
T1T2T3	D3	1727,2	5395,3	1909,5
Média Geral		1863,9	4736,4	1968,6
CV(%)		43,0	86,7	32,0

Obs: Variáveis sem efeito significativo dos tratamentos.

4.3 Profundidade e distância efetivas do sistema radicular

No Quadro 20 são apresentados os valores referentes à profundidade e à distância efetivas de raízes obtidas a partir tanto da massa seca quanto do volume de raízes finas e grossas, de acordo com a lâmina de irrigação e o quadrante de amostragem. A análise de variância revelou que tais fatores (irrigação e quadrante) não determinaram diferenças significativas para as variáveis profundidade (PE) e distância (DE) efetivas das raízes, assim como para profundidade e distância efetivas das raízes grossas (PEG e DEG, respectivamente). Pode-se observar que, embora com baixo coeficiente de correlação (R = -0,48), as médias de PE e DE apresentaram comportamento inverso, verificando-se, com relação às lâminas de irrigação, que a maior média de PE (0,547 m) está associada à menor média de DE (2,021 m).

A profundidade efetiva da laranjeira ‘Folha Murcha’ enxertada sobre o limoeiro ‘Cravo’ foi de 0,481 m (média geral do experimento), com média na direção da linha de plantio (quadrante D2) de 0,534 m e na direção da entre linha de 0,429 m (à jusante do declive, quadrante D3) e de 0,468 m (à montante do declive, quadrante D1) (Quadro 20). Zaccheo et al. (2012), também trabalhando com laranjeira ‘Folha Murcha’ sob sistema de irrigação por microaspersão, encontraram valores de 0,27 m de profundidade efetiva na linha de plantio e de 0,36 m na entre linha (média para diversos porta-enxertos). Já Machado e Coelho (2000), estudando a distribuição espacial do sistema radicular do porta-enxerto limão ‘Cravo’ sob lima ácida ‘Tahiti’, verificaram que a profundidade efetiva na linha de plantio foi de 0,40 m. Entretanto, Souza et al. (2008) encontraram valores de profundidade efetiva entre 0,59 a 0,73 m para o limoeiro ‘Cravo’ sob laranjeira ‘Hamlin’. Segundo Neves et al. (2008), foram obtidos valores de profundidade efetiva em cultivo com porta-enxertos limão 'Cravo' sob copa de tangerina 'Poncã' sem irrigação entre 0,36 m na linha de plantio e de 0,60 m na entre linha.

Quadro 20. Valores médios de profundidade (PE) e distância (DE) radicular efetiva, obtidas a partir da massa seca das raízes, e de profundidade (PEG; PEF) e distância (DEG; DEF) radicular efetivas para raízes grossas e finas, respectivamente, obtidos para o porta-enxerto limoeiro 'Cravo sob copa de laranjeira 'Folha Murcha' em função das lâminas de água (T1-testemunha sem irrigação; T2-aplicação de 64% da evapotranspiração potencial, ETp; e T3-aplicação de 100% da ETp) e dos quadrantes da planta (D1- direção da entre linha à jusante do declive; D2- direção da linha; e D3-direção da entre linha à montante do declive), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ.

Irrigação	Quadrante	PE	PEG	PEF			DE	DEG	DEF	
T1	D1	0,376	0,350	0,518	ab	B	2,210	2,021	2,481	
T1	D2	0,612	0,443	0,833	a	A	2,226	1,484	2,570	
T1	D3	0,417	0,373	0,415	a	B	2,308	1,917	2,549	
T2	D1	0,589	0,470	0,728	a	A	1,980	1,644	2,369	
T2	D2	0,469	0,424	0,559	ab	AB	2,029	1,497	2,311	
T2	D3	0,582	0,528	0,413	a	B	2,053	1,946	2,445	
T3	D1	0,338	0,273	0,378	b	A	2,351	2,063	2,508	
T3	D2	0,521	0,374	0,495	b	A	2,255	2,049	2,522	
T3	D3	0,427	0,339	0,387	a	A	2,051	1,669	2,392	
T1	D1D2D3	0,468	0,389	0,588			2,248	1,807	2,534	a
T2	D1D2D3	0,547	0,474	0,567			2,021	1,696	2,375	b
T3	D1D2D3	0,429	0,329	0,420			2,219	1,927	2,474	a
T1T2T3	D1	0,434	0,365	0,541			2,180	1,910	2,453	A
T1T2T3	D2	0,534	0,414	0,629			2,170	1,677	2,468	A
T1T2T3	D3	0,475	0,413	0,405			2,138	1,844	2,462	A
Média	Geral	0,481	0,397	0,525			2,163	1,810	2,461	
CV(%)		29,8	34,7	25,1			12,3	22,2	3,1	

Obs: Em uma coluna, letras minúsculas comparam as lâminas de irrigação, dentro de cada quadrante (PEF) ou na média dos três quadrantes (DEF), e letras maiúsculas comparam os quadrantes da planta dentro de cada lâmina de irrigação (PEF) ou na média das lâminas (DEF), sendo que médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade. Colunas cujas médias não são seguidas de letras indicam que a referida variável não apresentou efeito significativo dos tratamentos.

Gomes (1996) comparou o sistema radicular de citros da variedade Valência com porta–enxerto limão 'Cravo', com 6 anos de idade, sob três sistemas de irrigação diferentes, e determinou a profundidade efetiva das raízes para gotejamento, autopropelido e microaspersão obtendo para microaspersão o valor de 0,70 m na entre linha e na linha de plantio foi de 0,69 m.

Em relação à profundidade efetiva para raízes finas (PEF) da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo', a média geral do experimento foi de 0,525. Pela análise de variância pode-se verificar que houve diferença significativa em 5% de probabilidade entre as lâminas de irrigação em interação

com os quadrantes de amostragem. Para os quadrantes D1 e D2 a maior lâmina de água (T3) levou às menores médias de PEF (0,378 e 0,495 m, respectivamente), sendo a primeira estatisticamente inferior à média de T2 (0,728 m) e a segunda à de T1 (0,833 m). Para o quadrante D3 (no qual o microaspersor está localizado) não houve diferença entre as lâminas de irrigação, o que ocorreu não devido ao aumento da PEF na lâmina T3, mas sim pela menor PEF nas lâminas T1 e T2 comparativamente aos quadrantes D1 e D2. Assim, enquanto para a lâmina T3 a PEF não diferiu entre os quadrantes de amostragem, para T1 e T2 o quadrante D3 apresentou as menores médias de PEF (0,415 e 0,413 m, respectivamente), sendo a primeira estatisticamente inferior à média de D2 (0,833 m) e a segunda à de D1 (0,728 m).

Em relação à distância efetiva de raízes finas (DEF), pode-se verificar que houve diferença significativa em 5% de probabilidade entre as lâminas de irrigação e entre os quadrantes de amostragem, sem interação entre esses fatores. Enquanto as médias de DEF nos três quadrantes (2,453, 2,468 e 2,462 m) não diferiram entre si, em relação às médias dos tratamentos de irrigação, a lâmina de água T2 apresentou média de DEF (2,375 m) inferior às verificadas para T1 (2,534 m) e T3 (2,474 m).

Zaccheo et al. (2012), no trabalho anteriormente citado (com laranjeira ‘Folha Murcha’ sobre diferentes porta-enxertos sob sistema de irrigação por microaspersão, encontraram valores de 1,58 m de distância efetiva na linha de plantio e de 1,65 m na entre linha. Machado e Coelho (2000) verificaram uma distância efetiva das raízes de 2,0 m do tronco para plantas cítricas em um pomar sem irrigação. Já Neves et al. (1998; 2004), também trabalhando em pomar sem irrigação, observaram distância efetiva do sistema radicular de plantas cítricas variando de 1,5 m a 3,7 m em relação ao tronco das plantas. Segundo Neves et al. (2008), foram obtidos valores de distância efetiva em cultivo com o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' sob copa de tangerineira 'Poncã' sem irrigação entre 1,69 m na linha de plantio e de 2,61 m na entre linha. Oliveira et al. (1998) determinaram a distância efetiva de 1,50 m para tangerineira 'Cleópatra' sob copa de laranjeira 'Pêra' em solo franco-argiloso. Neves et al. (2004), para copa de lima ácida 'Tahiti', em espaçamento de 8 x 6 m obtiveram distância efetiva na linha e entre linha, respectivamente, de 2,30 e 3,12 m para limão 'Cravo'. Gomes (1996) determinou que a distância efetiva das raízes para microaspersão foi de 1,60 m.

5 RESUMO E CONCLUSÕES

O estudo da distribuição do sistema radicular é de suma importância para orientar as práticas culturais que deverão ser adotadas nos cultivos. Por serem plantas perenes, as plantas de citros devem apresentar, entre outros, um bom sistema radicular para garantir a sua longevidade. Conhecer a distribuição do sistema radicular possibilita determinar o local de maior potencial de absorção de água e nutrientes. Assim, a partir do mapeamento da distribuição do sistema radicular no perfil do solo pode-se determinar a área onde a água deve ser aplicada, bem como a profundidade que a mesma deve atingir.

Diante de tais premissas, o objetivo foi avaliar a distribuição do sistema radicular da laranjeira 'Folha Murcha', cultivada em um Argissolo Vermelho-Amarelo, no Noroeste Fluminense, associando-a às condições físicas do solo e à aplicação de lâminas de água por microaspersão.

A partir da análise dos dados pode-se concluir que:

- As lâminas de irrigação não influenciaram no estoque total de raízes, de raízes grossas (diâmetro de 2 a 8 mm) e de finas (diâmetro até 2 mm);
- A profundidade e a distância radicular efetivas não foram afetadas pela lâmina de irrigação e pelo quadrante de coleta. No entanto, profundidade e distância efetivas calculadas apenas para as raízes finas (diâmetro até 2 mm) foram afetadas por ambos os fatores;
- Com relação às variáveis de densidade radicular (massa, volume, superfície e comprimento por unidade de volume de solo), verificou-se efeito de todos os fatores considerados na ánalise (irrigação, profundidade, distância do tronco e quadrante de coleta), com redução da densidade radicular quanto maior a profundidade e distância do tronco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrêu, F.L.G. (2005) Avaliação de sistema radicular de porta-enxertos para lima ácida ‘tahiti’ [*Citrus latifolia* (yu.tanaka) tanaka] e relação com atributos do solo. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí.

Abrêu, F.L.G.; Salviano, A.A.C. (2007) Sistema radicular de três porta-enxertos para lima ácida ‘Tahiti’ no estado do Piauí. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 28, n. 2, p. 187-194.

Amaral, C.O. (2013) Função de produção da laranjeira ‘Folha Murcha’ em relação à irrigação. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 69p.

Amaral, U. (2011) Acúmulo de nutrientes e estoque de carbono pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ submetido a diferentes lâminas de irrigação. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Janaúba, MG, Universidade Estadual de Montes Claros, 66p.

Anghinoni, I.; Meurer, E.J. (1999) Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: Workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudo de casos. Aracajú, SE. Anais… Aracajú, Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 57-87.

Barbosa, T.R.L. (2012) Atributos físicos do solo sob espécies florestais da Mata Atlântica na Região Serrana Fluminense. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF.

Barbosa, D.H.S.G.; Vieira, H.D.; Souza, R.M. (2008) Avaliação em campo de cultivares de Coffea arábica em áreas isenta ou infestada por Meloidogyne exigua na região noroeste fluminense - Formação da lavoura. *Nematologia Brasileira*, Piracicaba, v.32, n.2, p.101-109.

Barros, J.C.S.M.; Graça, J.; Celestino, R.C.A.; Castro, N.G. (1998) Porta-enxertos para laranjeira Folha Murcha. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 15., Poços de Caldas, MG. Resumos... Lavras, UFLA, 271p.

Bengough, A.G.; Castrign, A.; Pagés, L.; Van Noordwijk, M. (2000) Sampling strategies, scaling and statistics. In: Smit, A.L.; Bengough, A.G.; Engels, C.; Van Noordwijik, M.; Pellerin, S.; Van De Geijn, S.C. (Eds) Root methods: a handbook. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.147-174.

Bengough, A. G.; Croser, C.; Pritchard, J. (1997) A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 189, p. 155-164.

Beutler, A.N.; Centurion, J.F. (2003) Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.849-856.

Blainski, E.; Tormena, C.A.; Fidalski, J.; Guimarães, R.M.L. (2007) Influência dos sistemas de uso e manejo na curva de resistência do solo à penetração de um Latossolo Vermelho distrófico. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., Gramado, RS. Anais... Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Bohm, W. (1979) *Methods of studyind root systems*. New York, Springer-Verlag, 194p.

Brasil, F.da C.; Zonta, E.; Oliveira, M.do R.G. (2007) Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo – uma revisão critica. *Revista Universidade Rural*: Série Ciências da Vida, Seropédica, RJ: EDUR, v. 27 n. 2, p. 14-33.

Cantão, F.R.O; Magalhães, P.C.; Almeida, I.F.; Soares, M.O.; Rocha, M.C.; Souza, T.C.; Vincent, M.L. (2008) Avaliação da morfologia radicular de genótipos de milho sob estresse de fósforo através da análise de imagens digitais. In: Congresso Nacional de milho e sorgo, 27., Londrina, PR. Resumos... Londrina, IAPAR, 97p.

Carvalho, J.L.N.; Avanzi, J.C.; Silva, M.L.N.; Mello, C.R.; Cerri, C.E.P. (2010) Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.34, n.2.

Carvalho, S.A. (1998) Estratégias para estabelecimento e manutenção de matrizes, borbulheiras e viveiro de citros em ambiente protegido. In: Seminário Internacional de Citros – tratos culturais, 5., Bebedouro. Anais... Bebedouro, Fundação Cargill, p.67-101.

Cassel, D.K.; Nielsen, D.R. (1986) Field capacity and available water capacity. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. 2 ed. Madison, ASA – SSSA, p.901-926.

Ceconi, D.E.; Poletto, I.; Lovato, T.; Schumacher, M.V. (2008) Biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de Acacia mearnsii de Wild. estabelecido em área degradada por mineração de carvão. Floresta, Curitiba, PR, v. 38, n. 1.

Cintra, F.L.D.; Mielniczuk, J. (1983) Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, p.197-201.

Coelho, E.F.; Oliveira, F. das C.; Araújo, E.C.E.; Vasconcelos, L.F.L. (2002) Distribuição de raízes de laranja 'Pêra' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.5, p.603-611.

Cogo, F.D.; Araujo-Junior, C.F.; Zinn, Y.L.; Dias Júnior, M.S.; Alcântara, E.N.; Guimarães, P.T.G. (2013) Estoques de carbono orgânico do solo em cafezais sob diferentes sistemas de controle de plantas invasoras. Semina: *Ciências Agrárias*, Londrina, v.34, n.3, p.1089-1098.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamentos de safras. 2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br em 26/05/2014.

Cruz, A.C.R. (2003) Consumo de água por cultura de citros cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

Dalmago, G.A. (2004) Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Porto Alegre – RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 245p.

Donadio, L.C.; Figueiredo, J.O.; Pio, R.M. (1995) Variedades cítricas brasileiras. Jaboticabal: Funep, 228p.

Donadio, L.C.; Mourão Filho, F.A.A.; Moreira, C.S. (2005) Centros de origem, distribuição geográfica das plantas cítricas e histórico da citricultura no Brasil. In: Mattos Júnior, D.; De Negri, J.D.; Pio, R.M.; Pompeu Júnior, J. (Ed.). Citros. Campinas, Instituto Agronômico e Fundag, 1-18p.

Donadio, L.C.; Stuchi, E.S.; Pozzan, M.; Sempionato, O.R. (1999) Novas variedades e clones de laranja-doce para indústria. Jaboticabal: UNESP; FUNEP; EECB, 42p.

Faria, G.E. (2006) Características químicas e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco e de raízes de Eucalipto. Trabalho de conclusão de curso (Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Viçosa – MG. Universidade Federal de Viçosa, 106p.

Figueiredo, J.O. (1991) Variedades de copa de valor comercial. In: Rodriguez, O.; Viégas, F.; Pompeu Junior, J.; Amaro, A. A.; *Citricultura brasileira*. Campinas: Fundação Cargill. p. 228-264.

Figuerêdo, M.A. (2004) Gênese e (re)produção do espaço da Baixada Fluminense. *Revista Geo-Paisagem*, v.3, n.5, Disponível em: <http://www.feth.ggf.br/Baixada.htm> em 11/07/2013.

Foloni, J.S.S.; Calonego, J.C.; Lima, S.L. (2003) Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:947-953.

Gomes, E.M. (1996) Estudo comparativo do sistema radicular de citros sob três tipos de irrigação. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

Gomes, E.M.; Vieira, D.B. (2001) Determinação da profundidade e distância efetiva do sistema radicular de citros irrigados por gotejamento. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., João Pessoa, PB. Anais... João Pessoa, ABES.

Hodgson, R.W. (1967) Horticultural varieties of citrus. In: Reuther, W.; Webber, H.J.; Batchelor, L.D. (Ed). The citrus industry. Berkeley: University of California, v.1, p.431-459.

Homma, S.K. (2005) Efeito do manejo alternative sobre a descompactação do solo, fungos micorrízicos arbusculares nativos e produção em pomar convencional de Tangor 'Murcott'. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agrossistemas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 84p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201404.pdf em 26/05/2014.

Ivo, W.M. (1999) Monólito com Placas de Pregos. In: Workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudo de casos, Aracajú, SE. Anais... Aracajú, Embrapa-Tabuleiros Costeiros, p. 269-274.

Johnson, M.G.; Tingey, D.T.; Phillips, D.L.; Storns, M.J. (2001) Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental botany*, v. 45, p.263-289.

Jong van Lier, Q. de (2010) Disponibilidade de água às plantas. In: Jong van Lier, Q. de (ed.). Física do Solo. Viçosa: *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, p.283-298.

Jorge, L.A.C.; Crestana, S. Recomendações práticas para utilização do SIARCS 3.0 nos estudos de raízes, cobertura vegetal, folhas e outras aplicações. São Carlos, EMBRAPA – CNPDIA, 1996. (Recomendação Técnica, 4/96).

Klepper, B. (1991) Root-shoot relationships. In: Waisel, Y.; Eshel, A.; Kadafki, V., Ed. *Plant roots: the hidden half*. New York: Marcel Decker, p. 265-286.

Kolesnikov, V. (1971) *The root systems of fruit plants*. Moscou: URSS, 269p.

Koller, O.C. (1994) Citricultura: laranja, limão e tangerina. Porto Alegre: Editora Rigel, 446p.

Lal, R. Soil carbono sequestration to mitigate climate change. (2004) *Geoderma*. Elsevier Sciense B.V. Amsterdam, n.123, p.1-22.

Libardi, P.L.; Van Lier, Q.J. (1999) Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. In: Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: metodologias e estudo de casos, Aracaju, SE. Anais... Aracajú, Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.268-273.

Lima, C.L.R.; Silva, A.P.; Imhoff, S.; Lima, H.V.; Leão, T.P. (2004) Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:409-414.

Lorenzi, H.; Bacher, L.; Lacerda, M.; Sartori, S. (2006) Frutas brasileiras e exóticas cultivadas: de consumo in natura. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 672p.

Machado, C.C.; Coelho, R.D. (2000) Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão 'Cravo' enxertado com lima ácida 'Tahiti'. Laranja, v.21, p.359–380.

Magalhães, A.C. (1988) Considerações sobre a fisiologia do sistema radicular: o caso das plantas cítricas. Laranja, Cordeirópolis v.2, n.9, p.401-404.

Magalhães Filho, J.R.; Amaral, L.R.; Machado, D.F.S.P.; Medina, C.L.; Machado, E.C. (2008) Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. Bragantia, Campinas, v.67, p.75-82.

Maia, P.N.F.; Rodrigues, A.O. (2009) A cidade (re)partida: um breve estudo sobre as emancipações da cidade de Nova Iguaçu e a formação da região da Baixada Fluminense. In: Congresso da Associação Portuguesa de Desenvolvimento Regional, 15.,Cidade da Praia, Cabo Verde.Anais... UniPiaget, Cabo Verde.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br. 26/05/2014.

Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, p.508-536.

Martins, M.Q. (2011) Desenvolvimento de cinco porta-enxertos cítricos e do enxerto variedade Folha Murcha em ambientes com diferentes níveis de sombreamento. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo.

Mattos Jr, D. de.; De Negri, D. J.; Figueiredo, J.O. de (2005) Lima ácida Tahiti. Campinas: Instituto Agronômico. Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Citros "Sylvio Moreira". Campinas.

Medeiros, M.T. (2009) Do sertão à zona rural. Que sertão? Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Merotto Jr, A.; Mundstock, C.M. (1999) Wheat root growth as affected by soil strength. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, p.197-202.

Montenegro, H.W.S. (1960) Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 143p.

Moraes, J.G. (2013) Balanço hídrico e coeficiente de cultura em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com a laranjeira 'Folha Murcha' no Noroeste Fluminense. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos – RJ.

Moreira, C.S. (1983) Estudo da distribuição do sistema radicular da laranjeira Pêra com diferentes manejos de solo. Tese apresentada à Esalq - USP.

Moreira, C.S.; Moreira, S. (1991) História Da Citricultura No Brasil. In: Rodriguez, O.; Viegas, F.; Pompeu Junior, J.; Amaro, A. A. *Citricultura brasileira*. Campinas: Fundação Cargill. p.1-21.

Name, M.H. (2013) Método computacional para avaliação do crescimento radicular da cultura da soja. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, Paraná, 63p.

Neves, C.S.V.J.; Dechen, A.R.; Feller, C.; Abi Saab, O.J.G.; Piedade, S.M.S. (1998) Efeito do manejo do solo no Sistema radicular de tangerineira 'Poncã' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' em Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.20, n.2, p.246-253.

Neves, C.S.V.J.; Murata, I.M.; Stenzel, N.M.C.; Medina, C.C.; Borges, A.V.; Okumoto, S.H.; Lee, R.H.CH.; Kanai, H.T. (2004) Root distribution of rootstocks for 'Tahiti' lime. *Scientia Agricola*, v.61, n.1, p.94-99.

Neves, C.S.V.J.; Medina, C.de C. (1999) Distribuição de raízes de citrus em latossolo roxo. In: Worshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: metodologias e estudo de casos. Anais... Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.153-166.

Neves, C.S.V.J.; Stenzel, N.M.C.; Carvalho, S.L.C.; Furlaneto, T.L.R.; Okumoto, S.H. (2008) Sistema radicular de quatro porta-enxertos sob copa de tangerina 'Poncã'. *Ciênc. agrotec*., UFLA, v.32, n.2.

Nogueira, M.O.G. (2013) Estoque de carbono na biomassa radicular e no solo em ecossistema florestal em processo de recuperação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

Oliveira, F.G.R.B. (2008) Quantificação e distribuição de raízes: uma reanálise de dados obtidos em plantas perenes e anuais. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Veterinária) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF.

Oliveira, J.B. (1991) Solos para citros. In: Rodrigues, O.; Viegas, F.; Pompeu Jr., J.; Amaro, A.A. (Eds.) *Citricultura brasileira*. Campinas, Fundação Cargill, v.1. p.196-227.

Oliveira, L.F.C.; Vieira, D.B.; Souza, I.S. (1998) Estudo do sistema radicular da tangerina “Cleópatra” com copa de laranjeira “Pêra”. Laranja, Cordeirópolis, v. 19, n. 1, p. 117-131.

Pabin, J.; Lipiec, J.; Wlodek, S.; Biskupski, A.; Kaus, A. (1998) Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.46, p.203-208.

Paiva, L.V.; Carvalho, S.A. de; Souza, M. de (1993) Limpeza clonal da laranjeira ‘Seleta Folha Murcha’ através da microenxertia in vitro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 11, p. 1341-1344.

Paixão, F.A. (2004) Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de uso de um povoamento de eucalipto. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Paulino, J.; Zolin, C.A.; Bertonha, A.; Freitas, P.S.L.; Folegatti, M.V. (2011) Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo.II. Características da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.13, p. 244-249. Campina Grande, PB.

Pedrosa, A.M. (2013) Análise funcional dos genes CsLEA2 e CsNCED3 para tolerância à seca em citros. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

Pio, R.M.; Figueiredo, J.O.; Stuchi, E.S.; Cardoso, S.A.B. (2005) Variedades copas. In: Mattos Junior, D., De Negri, J.D., Pio, R.M., Pompeu Junior, J. (org) Citros. 1.ed. Cordeirópolis: Cenntro APTA Citros Sylvio Moreira, p.63-94.

Reichert, J.M.; Reinert, D.J.; Braida, J.A. (2003) Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: Condições físicas do solo agrícola. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29., Ribeirão Preto, SP. Anais... Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4p.

Reinert, D.J.; Reichert, J.M.; Silva, V.R. (2001) Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: Carlesso, R.; Petry, M.T.; Rosa, G.M.; Ceretta, C.A., (Ed.). Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, p.114-133.

Resende, P.A. (2012) Estudos morfofisiológicos e genéticos da característica folha enrolada em genótipos de Laranjeira Doce. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas – São Paulo, 61p.

Reuther, W. (1973) Climate and citrus behavior. In: Reuther, W. (Ed.). *The citrus industry*. Berkeley: University of California, v.3, p.98-121.

Rezende, J.O. (2000) Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador, SEAGRI-SPA, 117p.

Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez, V.H. (1999) *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais* – 5ª Aproximação. 5. ed. Viçosa: Independente, 359p.

Rocha, M.C.; Miranda, G.V.; Vasconcelos, M.J.V.; Magalhães, P.C.; Carvalho Júnior, G.A.; Silva, L.A.; Soares, M.O.; Cantão, F.R.O.; Rodrigues, F.; Schaffert, R.E. (2010). Caracterização da morfologia radicular de genótipos contrastantes de sorgo em baixo e alto níveis de fósforo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.9, n.1, p. 65-78.

Rodriguez, O.; Viégas, F.; Pompeu Junior, J.; Amaro, A.A.; (1991) *Citricultura Brasileira*. 2º ed. Campinas, SP: Fundação Cargil.

Rossi, F.D.; Andrighetto, C.; Ferreira, O.G.L. (2008) Uso de Imagens Digitais em Mensurações de Coeficientes Técnicos Agropecuários. In: Workshop on Applications of Graphics to Agribusiness and Environment, 21., Campo Grande, MS. Anais... Campo Grande, SIBGRAPI, p.21-28.

Sant'Anna, H.L.S. (2009) Aspectos Fisiológicos de variedades de citros submetidas á deficiência hídrica progressiva. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - Bahia.

Santana, M.B.; Souza, L.S.; Souza, L.D.; Fontes, L.E.F. (2006) Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30 n.1.

Santana, S.C. (2009) Indicadores físicos da qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas na Região Sul do Tocantins. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Gurupi – Tocantins. Universidade Federal do Tocantins, 76p.

Santos, G.G.; Marchão, R.L.; Silva, E.M.; Nóbrega, J.C.A.; Neto, C.A.L. (2013) Distribuição de poros e sua relação com atributos físico-hídricos em solos de cerrado e cerrado/caatinga.. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34., Florianópolis, SC. Anais... Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4p.

Silva, D.A.; Souza, L.C.F.; Vitorino, A.C.T.; Gonçalves, M.C. (2011) Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. Bragantia, v.70, n.1.

Simões, W.L. (2007) Influência de diferentes sistemas de microaspersão na distribuição de água no solo e nas respostas morfofisiológicas do Citrus latifólia Tanaka sobre o porta-enxerto *Citrus limonia* Osbeck. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 114p.

Smit, A.L.; Bengough, A.G.; Engels, C.; Van Noordwijik, M.; Pellerin, S.; Van De Geijn, S.C. (2000) (Eds) Root methods: a handbook. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 587p.

Souza, E.D.; Carneiro, M.A.C.; Paulino, H.B. (2005) Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. Brasília – DF. *Pesquisa Agropec. bras*., v.40, n.11.

Souza, L.D.; Sobrinho, A.P.C.; Ribeiro, L.S.; Souza, L.S.; Ledo, C.A.S. (2004) Avaliação de plantas cítricas, em diferentes profundidades de plantio, em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. Jaboticabal – SP. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.26, n.2, p.241-244.

Souza, L.S.; Souza, L.D.; Paiva, A.Q.; Rodrigues, A.C.V.; Ribeiro, L.S. (2008) Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 503-513.

Stenzel, N.M.C.; Neves, C.S.V.J.; Scholz, M.B.S.; Gomes, J.C. (2005) Comportamento da laranjeira 'Folha Murcha' em sete porta-enxertos no Noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 408-411.

Stuchi, E.S. (1999) Avaliação da laranjeira 'Folha-Murcha' sobre dez porta-enxertos em Bebedouro, SP. Jaboticabal, Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 129p.

Stuchi, E. S.; Donadio, L. C. (2000) Laranjeira folha murcha. Jaboticabal: Funep.

Swingle, W.T.; Reece, P.C. (1967) The botany of citrus and its wild relatives. In: Reuther, W.; Webber, H.J.; Batchelor, L.D. (Ed.). The citrus industry. Riverside: University of California, v.1, p.190-430.

Taylor, H.M.; Brar, G.S. (1991) Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 19, p. 111-119.

Taylor, H.M.; Roberson, G.M.; Parker Jr., J.J. (1966) Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, v.102, p.18-22.

Teixeira, L.P. (2008) Caracterização hidrológica dos solos da Bacia experimental do Ribeirão Concórdia – Lontras/SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Blumenau – SC. Universidade Regional de Blumenau, 112p.

Tormena, C.A.; Silva, A.P.; Libarde, P.L. (1998) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.573-581.

Valicheski, R.R. (2008) Atributos químicos do solo, estado nutricional e desenvolvimento radicular do coqueiro anão verde cultivado em duas classes de solos sob diferentes níveis de compactação e umidade. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 99p.

Van Noordwijk, M. (1987) Methods for quantification of root distribution pattern and root dynamics in the field. 20 th, Colloquium International Potash Institute, Bern, Switerland, p.263-281.

Vasconcellos, H.O.; Duarte, L.S.N., Araújo, C.M. (1975). Estudo cromossômico de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, laranja Folha-Murcha. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 3.,. Rio de Janeiro, R.J. Anais... Seropédica, Sociedade Brasileira de Fruticultura, p.639-640.

Vepraskas, M.J.; Miner, G.S. (1986) Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root-growth. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.50, p.423-427.

Zaccheo, P.V.C.; Neves, C.S.V.J.; Stenzel, N.M.C.; Okumura, R.S. (2012) Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos sob laranjeira ‘Folha Murcha’ em clima subtropical. Semina: *Ciências Agrárias*, Londrina, v.33, n.3, p.921-930.