

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**USO DA IRRIGAÇÃO POR CAPILARIDADE NA PRODUÇÃO  
DE PORTA-ENXERTOS DE LIMÃO CRAVO NA FASE DE  
TUBETES**

**CARLOS VINÍCIUS GARCIA BARRETO**

CAMPINAS

DEZEMBRO, 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**USO DA IRRIGAÇÃO POR CAPILARIDADE NA PRODUÇÃO  
PORTA-ENXERTOS DE LIMÃO CRAVO NA FASE DE  
TUBETES**

Tese de doutorado submetida à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Água e Solo.

**CARLOS VINÍCIUS GARCIA BARRETO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO TESTEZLAF**

CAMPINAS

DEZEMBRO, 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
BAE - UNICAMP

B275u Barreto, Carlos Vinícius Garcia  
Uso da irrigação por capilaridade na produção de  
porta-enxertos de limão cravo na fase de tubetes / Carlos  
Vinícius Garcia Barreto. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Roberto Testezlaf.  
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Irrigação. 2. Citrus - Irrigação. 3. Viveiros. 4.  
Substratos. 5. Porta-enxertos. I. Testezlaf, Roberto. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Use of capillary irrigation growing Citrus limonia L. in  
small recipients

Palavras-chave em Inglês: Irrigation, Citrus - Irrigation, Nursery, Substrates,  
Scions

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Jorgino Pompeu Junior, José Antônio Frizzone, Regina  
Célia de Matos Pires, Edson Eiji Matsura

Data da defesa: 13/01/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

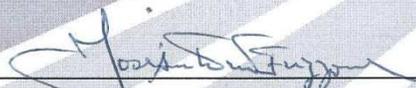
Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Carlos Vinícius Garcia Barreto**, aprovada pela Comissão Julgadora em 13 de janeiro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



**Prof. Dr. Roberto Testezlaf – Presidente e Orientador**  
Feagri/Unicamp



**Dr. Jorgino Pompeu Junior- Membro Titular**  
IAC/Cordeirópolis



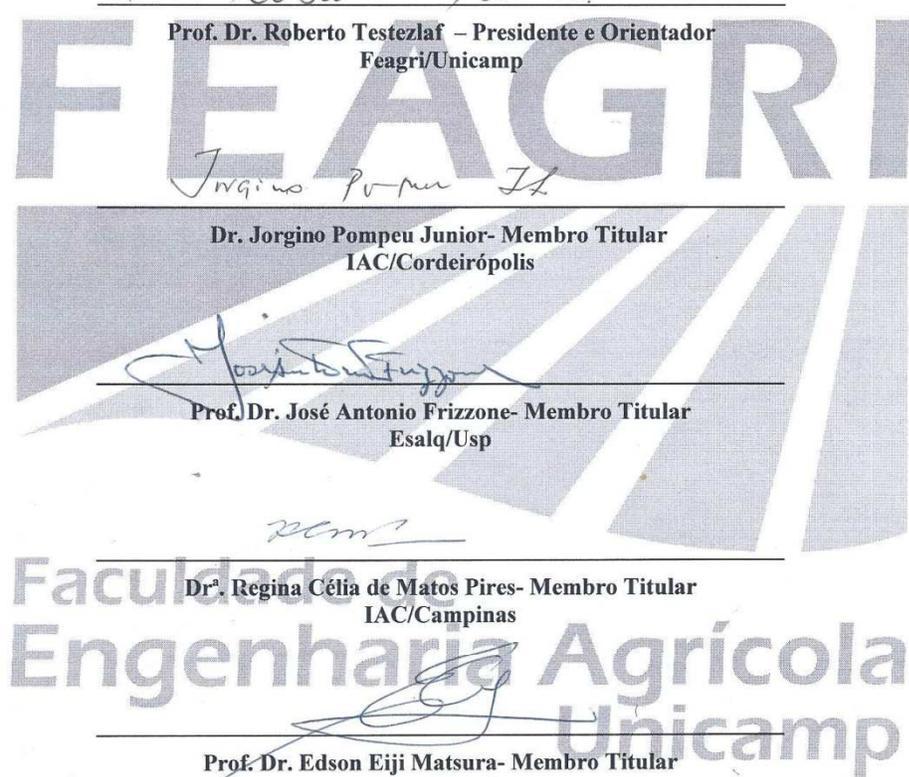
**Prof. Dr. José Antonio Frizzone- Membro Titular**  
Esalq/Usp



**Dr. Regina Célia de Matos Pires- Membro Titular**  
IAC/Campinas



**Prof. Dr. Edson Eiji Matsura- Membro Titular**  
Feagri/Unicamp



Ao meu filho Samuel, minha esposa,

meus pais e meus irmãos, dedico.

## ***AGRADECIMENTOS***

Ao Prof. Dr. Roberto Testezlaf pela confiança no meu trabalho, orientação e sua contribuição ao meu conhecimento .

À Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp pela estrutura cedida e apoio para os trabalhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento do projeto.

Ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial, pela concessão do horário especial de estudante, concessão imprescindível para cumprimento de minhas atividades a 500 km de distância entre meus locais de trabalho e estudos.

À banca de qualificação Dra. Mônica Ferreira de Abreu, ao Prof. Dr. Edson Eiji Matsura e ao Prof. Dr. Roberto Testezlaf, pelos votos de apoio manifestado ao trabalho em andamento.

Aos pesquisadores do Instituto Agrônômico, Dra. Regina Célia de Matos Pires e Dr. Emílio Sakai e pelo apoio e auxílio no empréstimo de equipamentos, sendo ainda, de maneira especial ao Dr. Flávio Bussmeyer Arruda pelo esforço conjunto nas determinações de fisiologia a campo e, principalmente, pela amizade.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica e Irrigação (em especial ao Gelson Espíndola da Silva), do Laboratório de Solos (em especial ao Dr. Antônio Javarez Júnior), da Secretaria de Pós-graduação e do Campo Experimental.

Às empresas CITROGRAF, MECPLANT e AMAFIBRA pela parceria.

A Deus, que me encorajou a cumprir o desafio, me proporcionou meios, disposição e saúde para trabalhar.

*Estamos aqui para fazer alguma diferença no universo, se não, porque estar aqui?*

Steve Jobs

## RESUMO

A produção de mudas de citros no estado de São Paulo se caracteriza pelo emprego de sistemas manuais de irrigação por aspersão com manejo de lâmina superestimada, implicando em baixas eficiências de aplicação de água. O emprego da irrigação por capilaridade, ou subirrigação, é uma opção com condições técnicas para maximizar o desenvolvimento de mudas cítricas e aumentar a eficiência do emprego da água. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema de irrigação que utilize os atributos físicos do substrato, permitindo a condução ascendente da água aplicada subsuperficialmente e que atenda adequadamente as necessidades de irrigação da cultura. A pesquisa foi dividida em duas etapas: avaliação das características físicas dos substratos comerciais de casca pinus e fibra coco para determinar aquele que apresenta as melhores características de retenção de umidade e ascensão de água para aplicação na irrigação por capilaridade e analisar o crescimento vegetal de porta-enxertos de limoeiro cravo cultivado em tubete irrigado no equipamento desenvolvido para diferentes posições do nível de saturação no interior do tubete, comparando ao sistema tradicional de irrigação. Nessa etapa, foram avaliados porta-enxertos de limoeiro cravo, aos 30 dias após a semeadura (30 DAS), cultivados em 3 tratamentos: T1, aplicação de água por capilaridade com nível de saturação a 2/3 da altura do tubete, T2, aplicação de água por capilaridade a 1/3 da altura e T3, aplicação de água por chuveiros, com análises fisiológicas e fitométricas das plantas sob esses tratamentos. Os resultados de avaliação dos substratos demonstraram que os materiais com maior granulometria (grosseiros) não apresentam boa retenção de água, possuindo alta aeração e menor ascensão da água. Constatou-se maior atuação da capilaridade em substratos de menor granulometria (finos), com maior retenção e ascensão de água e com elevação de umidade sob níveis de tensão de água facilmente disponível às plantas. O substrato fino de fibra de coco se mostrou mais adequado por possuir maior capacidade de retenção de água, boa elevação de água por capilaridade e água disponível às plantas em toda sua coluna. A análise da aplicação da irrigação por capilaridade, demonstrou que o tratamento T1 condicionou as plantas a uma menor transpiração sob maior resistência estomática, menor aquecimento das folhas e maior potencial da água na folha na antemanhã. O status hídrico-fisiológico das plantas sob T1

resultou em maior assimilação de carbono, expressando maior porte, maior enfolhamento e abreviamento do ciclo em relação às plantas cultivadas sob T2 e, principalmente, sob T3. As plantas sob T2 apresentaram resultados próximos a T1, ao passo em que as plantas cultivadas sob T3 apresentaram maior perda de água pelos estômatos, refletindo pior status hídrico e em menor desenvolvimento vegetal. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que o sistema de irrigação por capilaridade demonstrou-se adequado ao cultivo de porta-enxertos de limoeiro cravo, com boa resposta da produção vegetal para o nível de água no tubete nas duas posições do nível de saturação avaliadas, e apresentando possibilidade de reaproveitamento da água de irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** subirrigação, viveiros, substratos, porta-enxertos.

## ABSTRACT

The nurseries production of São Paulo State is characterized by the application of manual sprinkler hose system with over scheduled irrigation depth, resulting in low water application efficiency. The use of capillary irrigation, or subirrigation, is a technical alternative with conditions to maximize the citrus rootstocks growing and to increase the water use efficiency. The objective of present work was to develop an irrigation system that applies the physical attributes of substrates in capillary water rise process from a subsuperficial water source to attend plant water demands. The methodology was divided in two phases: physical evaluation of pine and coconut fiber commercial substrates to determine the most suitable for water holding and water rise capacities for capillary irrigation; and analysis of growing response of *Citrus limonia Osbeck* rootstocks cultivated in a capillary irrigation equipment for two positions of water saturation level inside of recipients, comparing with the usual irrigation system. In this step, were evaluated rootstocks of *Citrus limonia Osbeck* at 30 days after sowing (DAS), under three treatments, T1, water application by capillary trays with water level at 2/3 of height from the base of recipients, T2, water level at 1/3 of height, and T3, manually sprinkler hose irrigation, with analysis of physiological and physical parameters of the plants. The results of substrates evaluation confirmed that the materials with greater average particle size distribution (coarse) did not showed good water holding capacity, with high aeration and lower water rise. It was observed good capillary rise in fine textured substrates, with greater water holding and water rise with low water tension profile. The coconut substrate showed more suitable for capillarity application due to the higher water holding capacity, adequate capillary water rise and easily available moisture to the plants in entire substrate column. The analysis of capillary irrigation effects in rootstock growing showed that T1 treatment conditioned the plants to a lower transpiration rate under greater stomata resistance, lower leaf temperature and higher leaf water potential at predawn. The water-physiological relations for T1 resulted in greater carbon assimilation, expressing in bigger plants with more leaves that resulted in crop cycle reduction when compared with T2, and mainly T3 plants. The rootstocks under T2 grew like T1 plants, nevertheless T3 presented more water loss through stomata, reflecting worse water status and lower plant growing. It was

possible to conclude from the results, that capillary irrigation is suitable for *Citrus limonia* *Osbeck* rootstock growing in nursery production, showing adequate crop response for both saturation levels evaluated and the possibility to be adapted for irrigation water reuse.

KEY WORDS: Subirrigation, nursery, substrates, rootstocks.

## LISTA DE FIGURAS

### **Publicação 1: “Granulometry Effects at physical characteristics of coconut fiber and pine bark substrates”**

Figure 1 - Particle size distribution of fine pine bark substrate (FP) and coarse pine bark substrate (CP) in total weight percentage.....	15
Figure 2: Particle distribution of fine coconut fiber substrate (FC) including granular and fiber particles.....	17
Figure 3: Coarse coconut fiber substrate particle distribution (CC), including granular and fiber particles.....	18

### **Publicação 2: “Ascensão capilar de água em substratos de fibra de coco e de casca de pinus”**

Figura 1: Esquema de um anel intermediário (A), do primeiro anel com 3 mm de altura a mais e fundo em bisel (B), cilindros empilhados (C) e a montagem de cilindros (D).....	31
Figura 2: Esquema de saturação dos cilindros com substrato.....	32
Figura 3. Variação da taxa de ascensão de água para as colunas de substratos durante as 24 horas de ensaio.....	40

### **Publicação 3: “Dinâmica do potencial matricial em substratos de casca de pinus e fibra de coco sob ação da capilaridade”**

Figura 1: Esquema de um anel intermediário (A), do primeiro anel com 3 mm de altura a mais e fundo em bisel (B), cilindros empilhados (C) e a montagem de cilindros (D).....	50
Figura 2. Exemplo de relação entre o ponto de água disponível do substrato, 100 cm de coluna de água, e a umidade contida na coluna em um tempo determinado, T1 e T2.....	52
Figura 3. Curva retenção de umidade do substrato em função do potencial dos substratos fino de fibra de coco (CF), fibra de coco grosseiro (CG), casca de pinus fino (PF) e casca de pinus grosseiro (PG).....	53
Figura 4. Variação do potencial matricial do substrato fino de casca de pinus ao longo de 24 horas na coluna de 10 cm de altura.....	54
Figura 5. Variação do potencial matricial do substrato grosseiro de casca de pinus ao longo de 24 horas na coluna de 10 cm de altura.....	55

Figura 6. Variação do potencial matricial do substrato fino de fibra de coco ao longo de 24 horas na coluna de 10 cm de altura.....	56
Figura 7. Potencial matricial do substrato fino de fibra de coco ao longo de 24 horas na coluna de 10 cm de altura.....	57
Figura 8. Média de umidade ( $\theta$ ) disponível armazenada nas colunas de substrato de casca de pinus textura fina, casca de pinus textura grosseira, fibra de coco textura fina e fibra de coco textura grosseira entre 15 minutos e 24 horas.....	58

**Publicação 4: “Efeitos da irrigação por capilaridade no desenvolvimento de porta-enxertos de limoeiro cravo (*Citrus limonia Osbeck*).**

Figura 1. Bandejas de irrigação por capilaridade (à esquerda), empregadas na condução de T1 e T2 e disposição das plantas em bancada irrigada por aspersão (T3).....	66
Figura 2. Porta-enxertos cultivadas sob T1 (esquerda), T2 (centro) e T3 (direita).....	68
Figura 3. Aumento de altura e de diâmetro de caule em plântulas de limoeiro cravo cultivadas sob os tratamentos T1, T2 e T3 entre 30 e 90 DAS.....	70

**Publicação 5: “Respostas fisiológicas de plântulas do limoeiro cravo na fase de sementeira irrigado por capilaridade”**

Figura 1. Potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) de mudas de limoeiro cravo sob os tratamentos T1, T2 e T3 na antemanhã (A) e ao meio dia (M) ao longo do ciclo.....	82
Figura 2. Relação resistência estomática e transpiração nos dias 01/12/2009, 19/12/2009 e 23/01/2010 para os tratamentos T1, T2 e T3 ao meio dia.....	83
Figura 3. Respostas de porta-enxertos de limoeiro cravo sob T1, T2 e T3, sob os aspectos de temperatura foliar e gradiente entre temperatura da folha e do ar (A), resistência estomática (B), transpiração (C), eficiência de fechamento estomático (D), potencial da água na folha (E), relação potencial da água na folha com transpiração e resistência estomática.....	86

## LISTA DE TABELAS

### **Publicação 1: “Granulometry Effects at physical characteristics of coconut fiber and pine bark substrates”**

Table 1: Dimension average of coconut fiber retained particles into different sieve meshes.....	19
Table 2: Average values and parameter variance coefficient for pine and coconut fiber substrates with two granulometries: density (D), particle density (PD), water-holding capacity (WH), aeration porosity (AS), total porosity (TS), total retained air under saturation conditions (AF).....	20

### **Publicação 2: “Ascensão capilar de água em substratos de fibra de coco e de casca de pinus”**

Tabela 1. Distribuição percentual do tamanho de partículas para os substratos fino de casca de pinus (PF), grosseiro de casca de pinus (PG), fino de fibra de coco com componentes granulares (CF – G) e fibrosos (CF – F) e grosseiro de fibra de coco de componentes granulares (CG – G) e fibrosos (CG – F).....	30
Tabela 2: Valores de umidade com diferenças estatísticas de acordo com a posição vertical no durante o tempo de teste para o substrato fino de casca de pinus sob condições de umidade seco ao ar.....	34
Tabela 3: Valores de umidade com diferenças estatísticas de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato fino de casca de pinus sob condições de umidade de comercialização.....	34
Tabela 4: Valores de umidade com diferenças estatísticas de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato grosseiro de casca de pinus seco ao ar.....	35
Tabela 5: Valores de umidade com diferença estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato de casca de pinus grosseiro umedecido comercialmente.....	36
Tabela 6: Valores de umidade com diferenças estatísticas de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato fino de fibra de coco seco ao ar.....	37
Tabela 7: Valores de umidade com diferenças estatísticas de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato fino de fibra de coco com umidade comercial.....	38

Tabela 8: Valores de umidade com diferenças estatísticas, de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato grosseiro de fibra de coco seco ao ar.....	39
Tabela 9: Valores de umidade com diferenças estatísticas de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato de fibra de fibra de coco umedecido.....	39

**Publicação 3: “Dinâmica do potencial matricial em substratos de casca de pinus e fibra de coco sob ação da capilaridade”**

Tabela 1. Distribuição percentual do tamanho de partículas para os substratos fino de casca de pinus (PF), grosseiro de casca de pinus (PG), fino de fibra de coco com componentes granulares (CF – G) e fibrosos (CF – F) e grosseiro de fibra de coco de componentes granulares (CG – G) e fibrosos (CG – F).....	49
Tabela 2: Coeficientes de ajuste da curva de van Genutchen (1980) obtidas por meio de mesa de tensão para os substratos de fibra de coco grosseiro (CG), fibra de coco fino (CF), casca de pinus grosseiro (PG) e casca de pinus fino (PF).....	52
Tabela 3: Recomendações do posicionamento do nível de saturação e do tempo de saturação para utilização dos substratos avaliados.....	59

**Publicação 4: “Efeitos da irrigação por capilaridade no desenvolvimento de porta-enxertos de limoeiro cravo (*Citrus limonia Osbeck*).”**

Tabela 1. Valores médios de peso de matéria seca (g) das folhas, caule, raiz e planta inteira aos 36, 55, 75 e 90 DAS com identificação de diferença significativa ao nível de 95% de significância pelo método de Tukey para cada fase estudada.....	67
Tabela 2. Valores médios de diâmetro do caule, comprimento do caule, área foliar, comprimento de raizame e relação shoot/root aos 36, 55, 70 e 90 DAS com identificação de diferença significativa ao nível de 95% pelo método de Tukey para cada fase estudada.....	69
Tabela 3. Equações lineares de ajuste dos valores de altura de planta (cm) e diâmetro de caule (cm) para plantas de limoeiro cravo em tubetes em função do tempo (dias) entre 30 e 90 DAS sob três tratamentos de irrigação.....	70

**Publicação 5: “Respostas fisiológicas de plântulas do limoeiro cravo na fase de sementeira irrigado por capilaridade”**

Tabela 1. Taxa de assimilação de carbono pelas folhas ( $\dot{E}$ ), Área foliar e Relação folhas / plântula inteira das plântulas de limoeiro cravo para T1, T2 e T3 ao longo do ciclo da cultura..... 89

## LISTA DE SÍMBOLOS

WH	= Água armazenada ( $L^3$ )
$\alpha$	= Coeficiente de ajuste da equação de van Genutchen (adimensional)
n	= Coeficiente de ajuste da equação de van Genutchen (adimensional)
m	= Coeficiente de ajuste da equação de van Genutchen (adimensional)
C.E.	= Condutância elétrica ( $\mu S$ )
DN	= Diâmetro nominal (mm)
DAS	= Dias após a semeadura (dias)
PD	= Massa Específica de Partículas ( $M \cdot L^{-3}$ )
DS	= Massa Específica do substrato seco ( $M \cdot L^{-3}$ )
ppm	= Partes por milhão (adimensional)
A	= Porosidade de aeração ( $L^3$ )
$\Psi_f$	= Potencial da água na folha (MPa)
Z	= Referencial de posição vertical na coluna de substrato (cm)
R	= Resistência estomática ( $s \cdot cm^{-1}$ )
$\ddot{E}$	= Taxa de assimilação de carbono pelas folhas ( $mg \cdot cm^2 \cdot dia$ )
E	= Transpiração ( $\mu g / cm^2$ )
U	= Umidade (%)
$\Theta$	= Umidade volumétrica ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ )
$\Theta_r$	= Umidade volumétrica residual ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ )
$\Theta_s$	= Umidade volumétrica saturada ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ )
$\Delta\Theta$	= Variação da umidade volumétrica ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ )
$\Delta T$	= Variação de temperatura ( $^{\circ}C$ )
Q	= Vazão (l)
PV	= Volume do porômetro ( $L^3$ )

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xvi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL.....	4
Publicação Científica 1: Effect of grain size distribution in the physical characteristics of fiber de coconut and pine bark substrates.....	10
Publicação Científica 2: Ascensão capilar de água em substratos de fibra de coco e casca de Pinus.....	26
Publicação Científica 3: Dinâmica do potencial matricial em substratos de casca de pinus e fibra de coco sob ação da capilaridade.....	45
Publicação Científica 4: Efeitos da irrigação por capilaridade no desenvolvimento de porta-enxertos de limoeiro cravo ( <i>Citrus limonia Osbeck</i> ).....	62
Publicação Científica 5: Respostas fisiológicas de plântulas do limoeiro cravo na fase de sementeira irrigado por capilaridade.....	76
DISCUSSÃO GERAL.....	93
CONCLUSÃO GERAL.....	95
RECOMENDAÇÕES.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS.....	98

## INTRODUÇÃO GERAL

O estado de São Paulo é o maior produtor de suco de laranja do Brasil, detendo parte significativa da produção mundial do produto. Dentre as atividades agrícolas estaduais, a citricultura está entre as três mais economicamente importantes, junto com a cana-de-açúcar e bovinocultura de corte, sendo os seus fatores de produção elementos positivos que determinam essa posição de destaque. A atividade dispõe de produtores e agroindústrias com adequado nível de tecnificação, condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo da laranjeira e presença institucional que garante constante pesquisa e desenvolvimento, financiamento e custeio da atividade e, formação de mão-de-obra qualificada. Contudo, por se tratar de uma atividade produtiva de natureza biológica e inter-relacionada com fatores ambientais, torna-se difícil o controle de todos os insumos para manter elevada a capacidade de competição com outros países produtores.

Doenças que atacam os parques cítricos são responsáveis por sérios prejuízos a citricultura, tanto para o produto processado como *in natura*. Os patógenos *Candidatus Liberibacter spp*, *Xanthomonas axonopodis*, *Xilella fastidiosa* e *Phytophthora spp*. são agentes causadores de doenças que geram redução da produtividade, deterioração da qualidade dos frutos, aumento na quantidade de defensivos aplicados e, principalmente, a dizimação de plantas ou partes de talhões de pomares, reduzindo a renda dos produtores e atribuindo pontos negativos na competitividade dos produtos cítricos, frente aos mercados internacionais.

Buscando contribuir para a resolução desses problemas, a produção de mudas com qualidade fitossanitária e garantia de origem foi passo importante para o desenvolvimento da citricultura estadual. Como medida para a implantação deste processo, a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo normalizou a produção de mudas cítricas em ambiente protegido telado anti-afídeo em substituição ao antigo sistema de produção em canteiros ao céu aberto. A portaria CDA-5, de 3 de fevereiro de 2005 (COORDENADORIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA, 2005), obrigou os produtores de mudas a cultivar as plantas em ambiente protegido com o objetivo de se obter maior qualidade fitossanitária, determinando ainda, o uso de substrato desinfetado de patógenos e de água de irrigação estéril de microrganismos fitopatogênicos, de origem subterrânea ou tratada, quando de origem superficial. Adicionalmente, para reduzir as chances de contaminação das mudas com patógeno de solo, as

bancadas devem estar suspensas ou com o solo coberto de pedriscos, condicionando o acesso ao interior da estufa à passagem em pedilúvios e desinfetantes para as mãos. O resultado do investimento na tecnificação do sistema de produção é reconhecido atualmente pela melhor qualidade de mudas apresentadas, aliada à segurança sanitária para a formação de pomares.

Contudo, a legislação vigente não se referiu ao impacto ambiental da atividade, e não priorizou a definição de técnicas de manejo nutricional ou hídrico. Na fase de produção de mudas em tubetes é quando esses problemas são mais observados, devido ao emprego da irrigação por aspersão manual. Nessa etapa, os tubetes são preenchidos com substrato, impondo a condição para que as plantas se desenvolvam sob alta susceptibilidade de esgotamento da água do meio de crescimento radicular e, embora haja meios de estimar a umidade no substrato, estas avaliações não são realizadas na maioria das vezes pelos produtores, devido à comum superestimativa da quantidade de água aplicada. Esta prática gera perdas diretas da água entre tubetes, por percolação no seu interior e por interceptação das folhas da cultura, proporcionando baixa eficiência no uso da água. A falta de normas concernentes à destinação das soluções salinas drenadas, muitas vezes também veiculando defensivos, potencializa a contaminação dos solos e lençol freático com águas residuárias da atividade.

O manejo da água de irrigação ou da fertirrigação na produção de mudas, é realizado muitas vezes de forma adaptada e por critérios indefinidos ou empíricos, potencializando perdas de água e nutrientes e conseqüente contaminação do meio ambiente. Essa característica tem o potencial de se agravar à medida que se diluem fertilizantes à água de irrigação sem meios de tratamento no seu destino final. Uma das conseqüências desse processo é a contaminação da água e do solo que pode comprometer posteriormente a qualidade do suprimento de água de irrigação pela presença de sais, tais como de cloro e de sódio. Essa problemática se torna cíclica na medida em que há proximidade entre a fonte de água subterrânea e o local de produção ou do local destino de infiltração.

Como o manejo e a forma de aplicação de água na fase de tubetes na produção de mudas cítricas ocorrem de forma inadequada, a alternativa da utilização de um sistema de irrigação que aplique água subsuperficialmente, fazendo-se valer da diferença de potencial hídrico para o constante ou intermitente suprimento de água no tubete, surge como técnica viável para favorecer a eficiente utilização de água e nutrientes, tornando a produção mais

próxima dos princípios da sustentabilidade. Esta técnica atua eficientemente nas relações água-sustrato-planta-atmosfera, mantendo a planta em uma melhor condição hídrica, potencializando seu desenvolvimento, e reduzindo o impacto ambiental da atividade, quando comparado àquelas cultivadas sob o sistema de fornecimento de água convencional.

A aplicação do princípio de capilaridade na irrigação de mudas pode trazer ainda o benefício de não molhar a parte aérea das plantas, permitindo o reuso de água e, podendo proporcionar maior retenção hídrica no substrato. O uso de sistemas de subirrigação ou por capilaridade deve ser de simples concepção e manejo para permitir a instalação a baixo custo e redução da mão-de-obra requerida na sua operação.

Buscando tornar a produção de mudas cítricas na fase de tubetes mais eficiente no uso da água e de insumos químicos, o objetivo geral dessa pesquisa foi desenvolver um sistema de irrigação que utilize os atributos físicos do substrato, permitindo a condução ascendente da água aplicada subsuperficialmente e que atenda adequadamente as necessidades de irrigação da cultura. Para atingir esse objetivo, dividiu-se a pesquisa nas seguintes etapas: avaliação das características físicas dos substratos comerciais de casca de pinus e fibra de coco para determinar o que apresenta as melhores características de retenção de umidade e ascensão de água para ser utilizado em sistemas de irrigação por capilaridade; desenvolvimento de um sistema de irrigação por capilaridade que atenda as necessidades de irrigação de plântulas cítricas na fase de tubetes e avaliar o desenvolvimento de porta-enxertos de limoeiro cravo para diferentes posições do nível de saturação no interior do tubete, comparando ao sistema tradicional de irrigação.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

### ***Importância econômica da citricultura***

Entre 1995 e 2002, o valor de produção por hectare da laranja estava entre as principais culturas do estado de São Paulo, com destaque para os anos de 2001 e 2002, revelando a citricultura como grande geradora de renda para o agronegócio paulista, que em toda sua cadeia, movimentaria 4 bilhões de dólares/ano (Neves et al., 2003).

O valor da produção de frutas cítricas (laranja para indústria, laranja de mesa, limão e tangerina) para o ano de 2006 no estado de São Paulo somou 4,292 bilhões de reais, representando aproximadamente 13% do valor da produção agropecuária paulista para este ano (Tsunechiro, 2008a). Para o ano de 2007 o valor foi de 4,924 bilhões de reais, representando aproximadamente 15,45% do valor da produção agropecuária paulista total (Tsunechiro et al., 2008b). Segundo estes autores, no ano de 2008, o valor da produção destas frutas cítricas obteve aumento de 4,3%, projetando-se para 5,137 bilhões de reais, representando aproximadamente 13,61% do valor da produção agropecuária paulista.

O estado de São Paulo, no biênio 1995/1996 possuía 35.883 Unidades de Produção Agrícola (UPA) ocupando 865.802 ha, ao passo que no biênio 2007/2008 detinha 20.720 UPA ocupando no total 741.316 ha (Pino, 2009). Houve neste período uma redução de 42,3% de UPAs na atividade, com uma redução de 14,4% na área destinada ao cultivo da laranja, o que revelaria maior investimento na cultura por parte de produtores mais tecnicizados que conseguem ampliar seu pomar.

Destinando 723.420 ha para a cultura da laranja no biênio 2007/2008, esta cultura no estado de São Paulo aumentou 0,4% em sua área total, destinando 725.980 ha no biênio 2008/2009, com aumento de 1,1% na produção total da fruta, partindo de 14.471.750 t para 14.624.470 t (Caser et al., 2009). Esse aumento em produtividade harmoniza-se com os 37.426.807 milhões de novos pés, inseridos ao montante de 194.887.787 milhões de pés em produção, revelando investimento em mudas.

Dada tamanha expansão da citricultura, seu setor viveirista, por sua vez, assume fundamental importância na manutenção de competitividade de toda a cadeia produtiva de produção de frutas cítricas e seus derivados.

## ***Produção de mudas no estado de São Paulo***

O crescimento da citricultura juntamente à renovação anual de 6% dos talhões determina uma demanda contínua por novas mudas (Vivecitrus, 2003). Adicionalmente, as mudanças nas técnicas de produção aumentaram a densidade populacional nos talhões de 200 para 400 plantas, comparando os biênios de 88/89 com 2000/2001 (Ghilardi, 2002). Contudo, o crescimento da atividade proporciona uma demanda por mudas que está abaixo da capacidade de produção de 24 milhões de mudas no estado de São Paulo (Vivecitrus, 2003).

Embora o sistema de produção de mudas em substrato sob viveiro telado tenha um custo maior do que a multiplicação em canteiros (Sobrinho, 1991), o emprego destas mudas tem sido compensador pela qualidade das plantas produzidas (Vivecitrus, 2002). Na atual condição de competitividade não seria possível manter alta produtividade com a produção de mudas em canteiros a céu aberto, conforme descreve Sobrinho (1991), pois nestas condições de cultivo, a proliferação de doenças e pragas aos pomares ocorre livremente, acarretando remediação e erradicação de plantas doentes em campo (Fundecitrus, 2005b).

Com o objetivo de impedir a disseminação de doenças no parque citrícola paulista por meio das mudas, a sua produção deve ser realizada em ambiente protegido e livre de microorganismos fitopatogênicos e seus vetores (Fundecitrus, 2005a). Essa condição tornou-se obrigatória para todo o estado de São Paulo pela portaria CDA-5, de 03/02/2005 (COORDENADORIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA, 2005), da Secretaria da Agricultura. Dentre várias determinações, esta lei recomenda o uso de substratos desinfetados de microorganismos fitopatogênicos, água de irrigação clorada ou bombeada de poços profundos, instalação de muretas para barrar a enxurrada. Estas exigências se fazem necessárias por que patógenos tais como o *Straminipila Phytophthora* spp. estão presentes em rios e enxurradas (Hausbeck & Lamour, 2004), com tempo de sobrevivência até 20 dias (Porter & Johnson, 2004). Como reflexo desta norma, 72% dos viveiros paulistas cloram a água com o objetivo de se eliminar fungos e bactérias da água, que deve estar acidificada e com alto potencial oxidação-redução (Almeida, 2003 e Buck, 2003).

Atualmente a produção de mudas de citros em ambiente protegido é compreendida em três etapas. A primeira fase inicia-se com a semeadura em tubetes, estendendo-se até a muda atingir 10 a 15 cm de altura, totalizando 3 a 4 meses. Na segunda etapa, pós transplântio, a planta desenvolve-se durante aproximadamente três meses até atingir diâmetro de colo entre

0,5 e 1,0 cm. O diâmetro atingido permite que seja realizada a enxertia da muda, que dará aproximadamente quatro meses de sequência no desenvolvimento da muda até seu plantio a campo (Almeida, 2003).

### ***A irrigação na produção de mudas***

O atual sistema de produção de plantas cultivadas em substrato preconiza a aplicação de uma lâmina de água que proporcione percolação de água com sais, conforme é descrito por Milner (2002). Segundo este autor, esta prática visa a manutenção do equilíbrio iônico da solução do substrato, também garantido o molhamento do sistema radicular. Não obstante, é necessário que haja maior frequência de irrigação para manutenção de maiores níveis de umidade no substrato (Francescato, 1995), pois a secagem das camadas mais superficiais conduz a uma condição de hidrofobia, reduzindo a retenção de água aplicada (Soares, 2003). Em recipientes de tamanho diminuto é necessária maior capacidade de retenção de água pelo substrato (Fermino, 2002), caso contrário, torna-se necessária maior quantidade de irrigações, devido ao esgotamento rápido da água pela planta sob estas condições. O fato de 92% dos viveiros utilizarem irrigação manual na fase de tubetes (Almeida, 2003) pode dificultar o manejo da água de irrigação e, favorecer desperdícios de água e nutrientes. O produtor paulista de porta-enxertos de mudas cítricas irriga com baixa eficiência, utilizando chuveiros ou tubos perfurados, praticando fertirrigação sem técnicas de manejo da irrigação e potencializando perdas significativas de água e fertilizantes (Salvador, 2010).

A condição de manejo hídrico utilizado na produção de mudas na fase de tubetes acarreta perdas de água com sais diluídos para o meio ambiente (Soares, 2003). Este fato é agravado pela utilização de sistemas de irrigação por aspersão na fase de tubetes que determina o desperdício excessivo de água, maximizando perdas de fertilizantes diluídos (Gervásio, 2003). As estufas de produção de mudas de citros, certificadas pela portaria CDA-5, não precisam dispor de mecanismos para impedimento da infiltração de águas salinas no solo ou de reuso dos resíduos líquidos. O problema pode estar presente na cobertura de pedras britadas (alta permeabilidade) em 83,3% dos viveiros de São Paulo ou no destino das águas coletadas no revestimento de concreto no solo (Almeida, 2003).

Das principais implicações ambientais do umedecimento do solo com águas salinas podem estar no aumento da salinidade dos solos com alteração na infiltração (Kahlow & Azam, 2003) e na contaminação química do lençol freático. Para reversão do quadro torna-se

necessário o emprego de drenagem da solução do solo, para lixiviação dos sais do solo (Oster & Winchelns, 2003). A continuidade da atividade fertirrigada nessas condições, sem o uso de medidas de controle ou remediação dos íons no solo, pode acarretar a contaminação de lençol freático como mencionado por Toshiaki et al. (2004). No caso do suprimento de água dos viveiros ser proveniente de poço semi-artesiano, segundo reza a portaria CDA-5, e essa fonte for localizada nas proximidades do viveiro, haveria um problema de salinização progressivo.

Embora o aporte de nutrientes possa trazer problemas de salinização no solo quando mal manejado, as tendências no uso de adubos apontam, para o maior uso de fertilizantes solúveis, com emprego da fertirrigação (Milner, 2002). Tal fato ocorre porque os fertilizantes de liberação controlada, sensíveis ao calor, liberam maior quantidade de elementos em épocas quentes. Essa característica pode ser indesejável ao passo em que o esgotamento dos fertilizantes pode provocar deficiência nutricional no final do cultivo das mudas, exigindo complementação química via fertirrigação (Boaventura, 2003). As perdas de nutrientes em plantas cultivadas com fertilizantes de liberação lenta acarretam menor desenvolvimento vegetal, quando comparado às plantas fertirrigadas. Em decorrência do menor desenvolvimento, as plantas cultivadas com fertilizante de liberação lenta proporcionam maiores taxas de lixiviação, possivelmente devido às menores taxas de extração de água pelas raízes (Boaventura et al., 2004).

A aplicação de nutrientes via água de irrigação para mudas de citros apresenta, por outro lado, melhor desempenho do que a adubação foliar (Almeida et al., 1996). Embora seja observado um aumento no desenvolvimento das mudas de citros com o aumento da quantidade de nutrientes aplicados (Faita et al., 1984; Perin et al., 1996; Perin et al., 1999), há uma limitação do máximo desenvolvimento das mudas em função da quantidade máxima aplicada (Bernadi et al., 2000). Isso pode ser observado na aplicação de uréia em excesso, que promove redução do desenvolvimento das mudas de citros em decorrência da redução de pH do meio de crescimento radicular ocasionada pelo processo de nitrificação da uréia aplicada (Espoti & Siqueira, 2004). Essa limitação à resposta vegetal justificaria o uso racional de insumos na produção de mudas de citros, reduzindo as chances de salinização do meio de crescimento de raízes das plantas sob o sistema de capilaridade e do solo do ambiente protegido das plantas sob o sistema de aspersão.

## ***Aplicação da irrigação por capilaridade***

Como o manejo e a forma de aplicação de água e de fertilizantes na fase de tubetes na produção de mudas cítricas ocorrem de forma inadequada, a alternativa da utilização de um sistema de irrigação que aplique água subsuperficialmente, fazendo-se valer da diferença de potencial hídrico para o constante ou intermitente suprimento de água no tubete, se apresenta como uma possibilidade técnica para favorecer a eficiente utilização de água e nutrientes.

Para realização da irrigação por capilaridade, considera-se que fluxo de água é advindo das camadas mais profundas para as mais superficiais, onde ocorre maior redução do potencial matricial decorrente da atuação da evapotranspiração (Millar, 1988). Este processo é regido por outros fatores do meio de crescimento de raízes, tais como o fator geométrico das partículas do solo (Weerts et al., 2000), temperatura (Bachmann et al., 2002), a quantidade de água adsorvida nas superfícies dos colóides, ou ao nível de energia potencial para molhamento superficial (Goebel et al., 2004). Em substratos, assim como em solos, o tamanho das partículas assume fundamental importância na retenção de água. Quando este meio de crescimento de raízes possui constituintes de menor diâmetro ocorre favorecimento da microporosidade e, por conseguinte, da capilaridade (Milner, 2002), atribuindo maior poder tampão na liberação de água, com maior quantidade de água remanescente (Fernandes & Corá, 2004).

A constante manutenção de maiores níveis de água retida no substrato (Geneve et al., 2004) e percolação zero são as principais características do sistema de irrigação por capilaridade, que permite que haja maior eficiência no emprego de fertilizantes e defensivos (Uva et al., 2001). Na produção de plantas envasadas utilizando esta forma de irrigação, nota-se maior condutividade elétrica nas camadas superiores do substrato (Richards & Reed, 2004; Haley & Reed, 2004). O fato de a irrigação por capilaridade não realizar constantes lavagens do meio de crescimento radicular, determina maiores níveis de condutividade elétrica, tanto no substrato como no material lixiviado (Dole et al., 1994). Por essa razão, o método possibilitaria maior eficiência no uso de fertilizantes, em valores até 100% superiores aos demais métodos que aplicam água sobre os vasos (Haley & Reed, 2004). A irrigação por capilaridade também permite a aplicação de defensivos e controladores de crescimento vegetal. A soma das vantagens relacionadas possivelmente foi a principal causa do maior desenvolvimento vegetal das mudas de pimentão cultivadas sob este sistema, segundo

observou Verdial et al. (1998). Outra vantagem do método está na redução da dispersão de contaminantes químicos durante a produção, conforme foi relatado por Million et al. (1999). Contudo altos custos de aquisição do sistema e informações errôneas aos produtores fazem com que o método seja menos difundido. O sistema de irrigação por capilaridade tipo *flood* demonstrou melhor empregabilidade em culturas de maior valor econômico e os sistemas móveis e/ou pontuais apareceram com maior vantagem quando o custo de mão-de-obra apresenta-se mais representativo (Uva et al., 2001).

O sistema de produção de mudas de citros (e de outras culturas também) ainda apresenta ineficiências e necessidades de técnicas específicas no que se refere ao uso da água, com isso a seguinte afirmação de Wichelns (2004), mostra-se pertinente:

“...Inovações são necessárias tanto em tecnologia quanto em medidas de policiamento do manejo de recursos hídricos, para obter êxito nos ganhos de produtividade necessários para alimentar a crescente população mundial. Cientistas e engenheiros devem continuar a descobrir e disseminar informações a respeito da tecnologia do manejo da água...”

Esta tendência está de acordo com o novo paradigma da agricultura irrigada, que prioriza a economia de água com seus respectivos benefícios, em detrimentos da maximização indiscriminada da produtividade (English et al., 2002).

## **PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA 1**

***“Granulometry effects at physical characteristics of coconut fiber and pine bark substrates”***

Submetido à revista “Scientia Agrícola” em 30/06/2010

## **Granulometry effects at physical characteristics of coconut fiber and pine bark substrates**

**Abstract:** Plant production efficiency in recipients requires appropriate knowledge of the substrate characteristics that have important role in supporting the root system of plants and offering ideal moisture to their growth. Substrate type defines different characteristics into the environment, which brings challenges to its successful employment on the crop water management. In order to indicate ideal physical substrate attributes for a capillarity irrigation, there was an evaluation for physical properties of coconut fiber and pine bark fiber substrates with two granulometry patterns: fine and coarse. For both of analyzed substrates, poremeter and granulometry analysis methods were employed, and gravitational particle separation was added. The results have indicated that the coconut fiber substrate with coarse granulometry presented deficiency for watering processes by capillary rise due to a higher porosity caused by the fiber constitution. Substrates with lesser average particle size and lower fiber percentage favored water storage processes and, consequently, capillary rise processes. The coconut fiber substrate presented higher aeration with high water retention capacity.

**Key words:** greenhouse environment, seedling production, particle diameter

### **Efeitos da granulometria nas características físicas dos substratos de fibra de coco e de casca de pinus.**

**Resumo:** O desempenho da produção vegetal em recipientes requer o conhecimento adequado das características dos substratos que possuem função importante de suporte ao sistema radicular das plantas e de propiciar umidade ideal ao seu crescimento. O tipo de substrato utilizado define diferentes características físicas ao meio de crescimento o que traz, para o manejo hídrico da cultura, desafios ao seu emprego com sucesso. Com o objetivo de indicar atributos físicos ideais de um substrato para irrigação por capilaridade, avaliaram-se as propriedades físicas dos substratos de fibra de coco e de casca de pinus com dois padrões de granulometria: fina e grossa. Para ambos os substratos empregaram-se os métodos de porômetro e de análise granulométrica, sendo que, no caso dos substratos de fibra de coco, adicionou-se também a separação gravitacional de partículas. Os resultados indicaram que o substrato de fibra de coco com maior granulometria mostrou-se deficiente para processos de

molhamento por ascensão capilar, devido à maior porosidade gerada pela constituição fibrosa.

Os substratos com menor tamanho médio de partículas e menor percentual de fibras favoreceram os processos de armazenamento de água e, conseqüentemente, os processos de ascensão capilar. O substrato de fibra de coco apresentou uma maior aeração com alta capacidade de retenção de água.

**Palavras-chave:** ambiente protegido, produção de mudas, diâmetro de partículas.

### **Introduction**

The plant production in containers has demanded a greater knowledge of the substrates used in this kind of crop farming, due to its direct influence on the crop vigor, development and health, especially at seedling production sector. Because of those materials heterogeneity, their physical properties may vary strongly, making it necessary to characterize them in order to properly adapt them to different use conditions.

Physical properties of the substrates such as total porosity, density, organic matter constitution and particle size distribution are important parameters for their description and for their quality determination (Fonteno, 1993). According to Yeager, 1995, substrates used at production in containers must present total porosity between 50 and 85%, aeration space between 10 and 30% and container capacity between 45 and 65%.

The substrate granulometry is one of the parameters that significantly affect its physical characteristics. In substrates with fine granulometry, smaller aeration porosity and greater available water quantity are detected after water release processes (Milks et al., 1989). According to Caron et al. (2001), the particle size distribution also interferes into gas diffusion at the root growth environment. However, when substrates present excessive amount of fine particles in their composition, problems can occur at the plant aeration, causing reduction on vegetative growth (Zanetti et al., 2003). This behavior indicates a need of keeping a minimum aeration at the substrates, especially in small containers, as Milks et al. (1989) recommended. Following a balanced particle distribution, the growth environment allows better buffering effect at water release, with a great quantity of stored water in the process, demonstrating that particle size has a predominant role at watering processes (Fernandes & Corá, 2004). Laboratorial practices reveal that particle size distribution, combined with physical-hydric determinations, is important when describing events involved in capillary rise. In addition to

granulometry, particle shape also influences water movement, as related by Weerts et al., (2000).

Properties, such as density and retention capacity, are easy to be measured (de Kreij, 2001) but they must be carefully dealt with, especially in laboratories that employ non-compression techniques because of non-uniformity in their work, as shown through several results found by institutions (Verdonk et al., 1978). In order to get data about density and retention capacity, the porometer is a more appropriate and faster technique enabling repetition (Fonteno, 1993). The convenience of such method, in conjunction with its reliability, had motivated its development gotten by Dilger (1998) and used by Pire & Pereira (2003).

According to Verdonk & Gabriëls (1988), physical substrate aspects considered important are density, total porosity, air bulk percentage, water retention capacity and particle size distribution. This way, the current study has sought for determining a substrate that better suits retention and capillary rise necessities in containers, comparing and evaluating coconut fiber and pine bark substrates with different grain size distribution patterns.

### **Material and Methods**

The experiments were conducted at the Hydraulic and Irrigation Laboratory of Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Brazil. Pine bark substrates (P) and coconut fiber (C) were evaluated with two grain size patterns: coarse (C) and fine (F), trying to evaluate particle size influence relating to their density, retention and porosity. Were used Mecplant® pine substrates G12 (coarse) and F24 (fine) and Amafybra® fine coconut fiber, Golden Mix® granulado and coarse coconut fiber Golden Mix® fibroso. Therefore, the following substrate patterns were tested: fine coconut fiber (FC), coarse coconut fiber (CC), fine pine bark (FP) and coarse pine bark (CP). In order to classify the substrates according to their particle size, three-200-gram air dried samples were sifted, using a group of sieves with six different meshes: 6.3; 4.76; 2; 1; 0.5; and 0.25 mm. The 6.3 mm and 4.76 mm sieves retain non-decomposed substrate particles, those of allowing larger internal air structure formation at the substrate. Sieves with 0.5 mm and 0.25 mm retain thin particles, which are mostly responsible for surface contact and root capillarity effect.

For each sieve retaining coconut fiber substrate samples, a morphologic analysis of their particles was conducted in order to analyze granular and fiber particle amount. Separation of those particle types was done by using a technique similar to a gravimetric desk

which separates particles for gravity. This was accomplished by putting a container with coconut fiber substrate in contact with the sieve vibration equipment, at 15° to 30° angle related to the bench surface. This condition generated a descending movement at the granular particles, while the fiber particles concentrated at superficial levels. The fiber concentration created mazes which were removed manually. The vibration process was repeated three times in order to improve granular and fiber component separation quality. After separation, diameters and ten randomly selected fiber lengths, from the chosen sample, were measured, employing micrometers and caliper rule, respectively.

To proceed with physical-hydric parameter evaluation, 10 PVC porometers, with 72mm diameter and 590 cm<sup>3</sup> of capacity were built. The following parameters were determined for all substrates: density, water retention, aeration pores, total porosity, particle density and air retained in total saturation. Each parameter value was determined by 10-repetition average with the standard deviation estimate, the variation coefficient and T-test application.

Following Pire and Pereira (2003), all parameters including density was estimated through the substrate dried-mass relation by the porometer volume, and water retention was calculated through the wet weight substrate subtracted by its dry weight, divided by the porometer volume. The aeration spaces were determined through the water volume drained for porometer holes after being unblocked. The addition of retention capacity values to aeration space value shows the total porosity substrate. The calculus of all parameters was obtained through the volumetric relation defined by Pire and Pereira (2003), using the following equation:

$$PV = \left( \frac{DS}{PD} \right) + A + WH$$

Equation 1.

where:

PV = Porometer volume (L<sup>3</sup>);

DS = Dry Substrate density (M.L<sup>-3</sup>);

PD = Particle Density (M.L<sup>-3</sup>);

A = Air space (L<sup>3</sup>);

$$WH = \text{Retained Water } ((L^3);$$

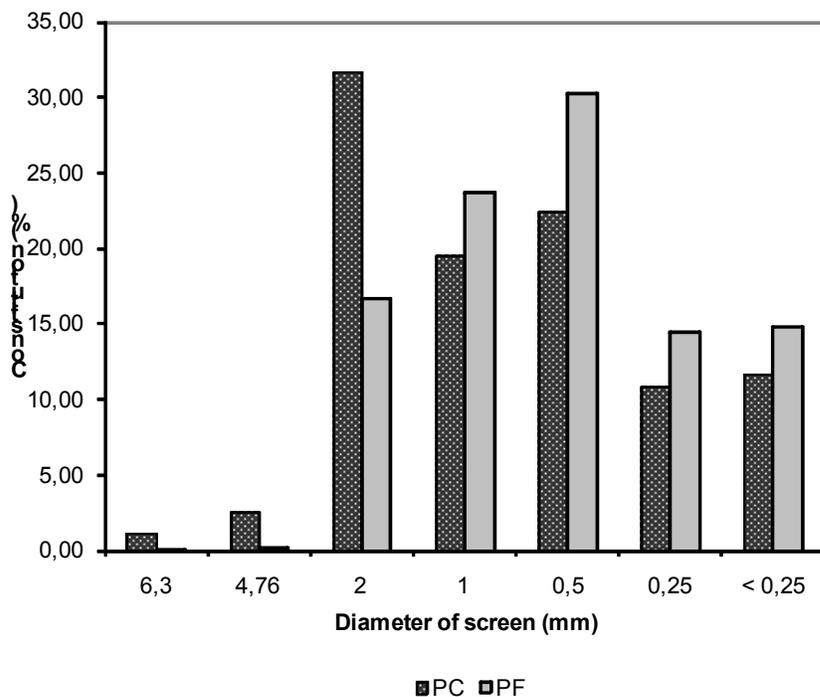
In order to reduce error sources and result variability, a few differentiated laboratorial practices proposed by Pire & Pereira (2003) were adopted. The porometers were filled with a long opening funnel to reduce particle segregation during its filling. A piece of cloth was put at the porometer opening to avoid material loss at the compression impact. To achieve the porometer saturation, filled with coconut fiber substrate, the porometers were disposed into a plastic box filled with water. Saturation proceeding was slow, lasting about 48 hours to promote slow saturation level increasing, thus, preventing porometers from falling over, what actually occurred when this recommendation was not observed, especially for the fine coconut fiber substrate. This occurrence was observed due to the high substrate aeration under dried-air conditions and their hydrophobic properties.

## Results and Discussion

### Grain Size Distribution Analysis

#### **Pine bark substrates**

Figure 1 presents the particle size distribution of pine bark substrate for both granulometry types (coarse and fine).



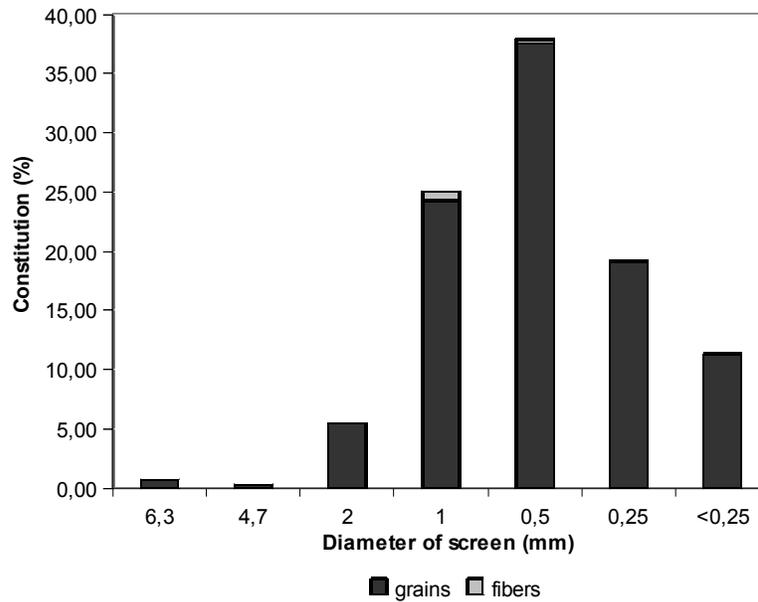
**Figure 1 - Particle size distribution of fine pine bark substrate (FP) and coarse pine bark substrate (CP) in total weight percentage.**

The Figure 1 shows that the coarse pine bark substrate (PC) presented particles with 2 mm of diameter as its main component, representing 31.76% of total weight. The 0.5 and 1mm particles are respectively the second and the third pattern in particle size, with 22.44% and 19.54% of presence in their weight component. The smaller particles, represented for the 0,25mm and <0.25mm sieves with 10.86 and 11.68%, added up to 22.54%. At this substrate, coarse particles prevailed where 2mm addition to those of 1mm added up to 51.3% of the particles. The fine pine bark substrate (FP) was characterized for presenting 30.2% of its total weight with 0.5mm diameter particles, where the 1.0 and 2.0 mm sieves showed held percentages of 23.7 and 16.68% respectively, becoming the second and the third more presented particles at substrate constitution. The finer particles, separated for 0.25 and <0.25 mm sieves, represented respectively, 14.40% and 14.79%, which together added up to 29.19%. The fine pine bark substrate presented 59.39% of particles classified at the three smallest sieves. Particles with 6.3 mm and 4.7 mm sizes were not counted in significant quantities for both pine bark substrates.

#### **Coconut fiber substrate**

As the coconut fiber substrate has presented a difference in its composition, not only for its size but also for particle type, this topic analysis was separated by its particle size. Particle size distribution for the coconut fiber substrate for the fine granulometry class is presented in Figure 2, where granular and fiber particles are evidenced.

Fine coconut fiber substrate presented few retained particles at 6.3 and 4.7 mm sieves, representing 0.7 and 0.6% of total weight. Not a single particle was observed in those sizes, but only a maze of fibers. At this fine particle substrate, it was observed a non-significant fiber constitution with 1.1% of the weight. The main granular components were 0.5 mm particles, representing 37.9% of the substrate weight, as shown at the graphic. Finer particles, those of 0.25 mm and <0.25 mm altogether represented 30.5% of total substrate weight, with 19.1% and 11.4% of total weight, respectively. The particle pattern that represented the least participation at the fine coconut fiber substrate constitution was that of coarse particles with the 2 mm sieve as 5.4%, and the 1.0 mm sieve representing 25.1%. The fine coconut fiber substrate presented a particle distribution which concentrated 68.4% of its weight in the retained particles at the three smallest classifications.



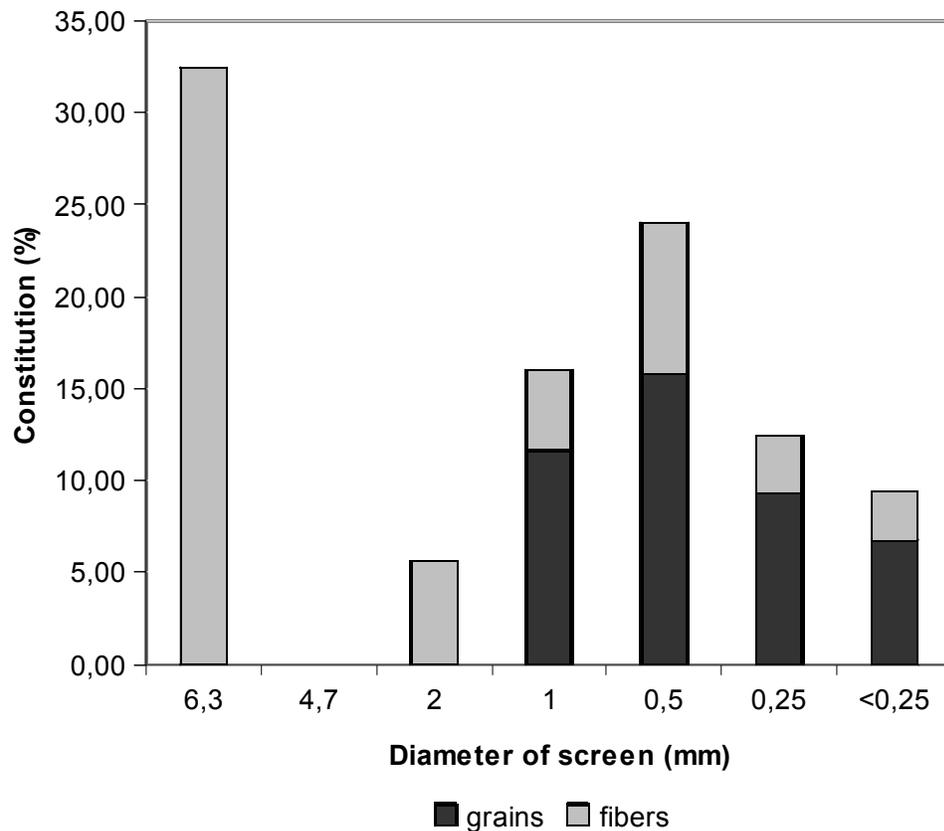
**Figure 2: Particle distribution of fine coconut fiber substrate (FC) including granular and fiber particles.**

Fine coconut fiber substrate particle distribution is similar to the fine pine bark substrate one, where 0.5 mm particles prevailed. While at the pine substrate particles are classified at 0.5 mm sieve representing 31.2%, at the coconut fiber substrate, they reached 37.9%. Found results were coherent with Caron et al. (2005a), who had reported the coconut fiber substrate constitution being formed by approximately 40% of particles until 0,8mm.

Particle size distribution for the coconut fiber substrate for the coarse granulometric class is presented at Figure 3, where granular or fiber particles are evidenced.

Coarse coconut fiber substrate presented a larger fiber particle proportion, highly coarse and non-decomposed coconut husk at the first mesh of 6.3 mm. In this sieve, the retained substrate total was 32.46% of the total weight of coarse coconut fiber substrate. The 4.76 mm sieve did not hold any of this substrate amounts, due to the large maze formed into the sieve above. At the 2 mm sieve, the sample weight represented 5.6% of the total substrate weight and no granular particles were detected. The fine substrate particles, sampled into 0.25 and <0.25 mm sieves, were the smallest proportion ones, with 12.4% and 9.4% respectively, which altogether added up to 21.8% of the substrate weight. Sieves of 0.5 mm, 1.0 mm, and 2 mm presented substrate constitution of 24.1%, 16.0%, and 5.6%, respectively. Fiber constitution, in each sample into the sieves under 2 mm, did not exceed the colloidal particle

grain weight, where, at 0.25 mm and <0.25 mm sieves, the fiber percentage was, respectively, 3.1 and 2.7% of the substrate weight. Following the same tendency, fiber percentage at substrates into the sieves of 1 and 0.5 mm were represented respectively, with 4.4 and 8.2%. Coarse particle predominance is expressed through the fact that 54.1% of substrate weight is concentrated at retained particles at the 6.3 mm, 2 mm, and 1mm sieves.



**Figure 3: Coarse coconut fiber substrate particle distribution (CC), including granular and fiber particles.**

The coarse coconut fiber substrate, sampled into the 6.3 mm sieve, presented as its main constitution non-decomposed coconut husk particles and very coarse fibers, often connected due to those non-decomposed elements. This sample was only constituted of fibers, presenting no granular components. The great resistance characteristic of those fibers gave to this growth environment great aeration, due to space maintenance without substrate. Such pneumatic structures can occur more significantly according to container reduction, because of vertical fiber accommodation absence. According to the particle contact principle for water movement at irrigation methods by capillarity, this fiber constitution characteristic is harmful

for water rise by it. This tendency is confirmed in 100% of fiber constitution with those characteristics, where 2 mm sieve represented 38.1% of the total substrate weight. In the whole substrate, those fibers totalized 56.52% of the fiber weight at coarse coconut fiber substrate. Thus, the particle shape factor at water conduction into the observed soils by Weerts (2000) also makes an effect into substrates and related to porosity and water retention.

#### **Fiber constitution of coconut fiber substrates**

In each sample of retained coconut fiber sample into the sieves, there is a fiber percentage held together to the granular particles, as it may be seen at Figures 2 and 3. Comparatively, the fine coconut fiber substrate presented a small fiber constitution in the substrate, a fiber constitution not being observed over 1.0% of substrate weight for 0.25 mm, 0.5 mm, and 1.0 mm sieves, where 0.77%, 0.31% and 0.03% were measured.

Table 1 presents average values of retained fiber dimension (length and diameter) at each sieve mesh for the two analyzed granulometries of coconut fiber substrate.

**Table 1: Dimension average of coconut fiber retained particles into different sieve meshes.**

Diameter of screen (mm)	CC		CF	
	Diameter (mm)	Length (cm)	Diameter (mm)	Length (cm)
1	0.2182	19	0.13	16.5
0.5	0.149	11	0.11	10.2
0.25	0.144	9,7	0.10	7.6
<0.25	0.082	5,5	-	-

Fiber dimensions, contained into fine texture coconut fiber substrate, are smaller than those of observed at the same coarse coconut fiber substrate sieve. It can be noticed, however, that the difference between the fine and coarse particle diameter is greater than the difference between their lengths. This may indicate that, at physical substrate classification processes through sieves, fiber particle length carries a more precise correlation with the sieve mesh diameter than the fiber particle diameter. Considering fiber length as a significant factor for air structure formation into the coconut fiber substrate interior, its determination employing sieves was recommended to infer root growth environment continuity.

#### **Physical parameters**

Density substrate parameter results, particle density, water retention capacity, aeration porosity, total porosity, and retained air percentage at the saturation are presented at Table 2.

### Global substrate density

Substrate density evaluation verified that fine pine bark and coarse pine bark substrates have no significant differences, with values of 266.8 and 268.9 kg.m<sup>-3</sup>, respectively. At coconut fiber substrate, however, significant differences were observed among fine and coarse textures and substrate types. Fine coconut fiber substrate has higher density, 199.9 kg.m<sup>-3</sup>, when compared with coarse substrate, with 77.4 kg.m<sup>-3</sup>. Fine coconut fiber substrate is less dense when compared with fine pine bark substrate.

The difference between fine and coarse coconut fiber substrate global density can be attributed mainly to coarse substrate fiber constitution. Vegetable nature that originated substrates has caused a great difference between pine bark and coconut fiber substrates. Coconut fiber substrates varied in density according to their textures, while it did not occur at pine bark substrates.

**Table 2: Average values and parameter variance coefficient for pine and coconut fiber substrates with two granulometries: density (D), particle density (PD), water-holding capacity (WH), aeration porosity (AS), total porosity (TS), total retained air under saturation conditions (AF).**

Substrate	D (kg/m <sup>3</sup> )	PD (kg/m <sup>3</sup> )	WH (L/m <sup>3</sup> )	AS (L/m <sup>3</sup> )	TS (L/m <sup>3</sup> )
FP	266.8 a	938.9 a	657.4 a	58.2 a	715.6 a
cv (%)	4.4	4.0	3.3	28.37	1.5
CP	268.8 a	644.1 bc	494.1 b	88.4 a	582.5 b
cv (%)	2.6	2.4	4.6	26.9	0.9
FC	199.9 b	684.9 b	637.2 a	70.9 a	708.0 a
cv (%)	1.4	2.8	2.4	18.13	1.08
CC	77.4 c	600.6 c	376.1 b	495.0 b	871.02 c
cv (%)	11.2	1.5	17.5	16.3	1.8

Obs.: FP = fine texture pine substrate; CP = coarse texture pine substrate; FC = fine texture coconut fiber substrate;

CC = coarse texture coconut fiber substrate.

### Density of the substrate particles

This parameter evaluation has allowed a distinction between the two different substrate textures. The average particle density of fine pine bark substrate was 938.0 kg.m<sup>-3</sup>, being significantly different from coarse substrate, with 644.1 kg.m<sup>-3</sup>. The fine substrate presented a particle density of 45.8% higher than the coarse pine bark substrate. The difference

among particle densities of pine bark substrates revealed that pine bark substrate particle size can be related to the matter nature changes induced by decomposition processes. This is likely because the bigger particles went through less advanced decomposition processes when compared with fine ones.

For coconut fiber substrates, it was observed a significant difference between different textures, in the way the fine one had an average value of  $684.9 \text{ kg.m}^{-3}$  and the coarse one,  $600.6 \text{ kg.m}^{-3}$ . The difference between the fine and coarse coconut fiber substrate was 14.0%, making clear the difference between the two coconut fiber substrate granulometries. Particle density of coconut fiber substrate differs among the textures, but in a smaller discrepancy than that of the pine bark substrate. This is mainly due to the fact coarse substrate owns more fiber particles than granular ones, in the way a type of predominant fibers causes a difference in particle density.

#### **Water retention capacity**

Water retention presented values with non-significant differences between different substrates for the same texture, and significant differences between textures for the same substrate.

Fine texture pine bark substrate presented  $657.4 \text{ L.m}^{-3}$  of water retention, while the same substrate with coarsed texture presented an average value of  $494.1 \text{ L.m}^{-3}$ , which means a retention increase of 33.0%. According to the physical principle of water retention, the result presented by fine pine bark substrate was explained by the smallest size average of particles when compared with coarse substrate. The homogenous particle distribution of fine pine bark substrate, corroborating Fernandes & Corá (2004), brought better characteristics to storage process when compared to the same substrate at coarse texture.

The retention capacity of  $637.2 \text{ L.m}^{-3}$  at fine coconut fiber substrate presented a statistical value equal to fine pine bark substrate, but differs from the coarse coconut fiber substrate, with an average value of  $376.1 \text{ L.m}^{-3}$ . In this sense, the fine coconut fiber substrate retained 69.4% more than the coarse one.

#### **Aeration porosity**

Aeration porosity represents the pores providing aeration to the substrate without retaining water. The fine pine bark substrate presented the lowest aeration porosity of  $58.2 \text{ L.m}^{-3}$ , while the coarse substrate, the highest aeration porosity of  $88.4 \text{ L.m}^{-3}$ . At fine pine bark

substrate, there was a microporosity prevalence in the root growth environment. This represents benefits to its physical properties, such as good retention capacity and water conduction. The highest aeration porosity of the coarse pine bark substrate, related to the same fine substrate, matches with the smallest observed retention capacity.

Aeration porosity of  $70.9 \text{ L.m}^{-3}$  measured at the fine coconut fiber substrate is smaller than the coarse substrate aeration porosity of  $495 \text{ L.m}^{-3}$ . The aeration porosity at the fine coconut fiber substrates is 86% smaller than the coarse ones, while this proportion is of 34.2 % at the pine bark substrate. The smallest values of fine coconut fiber and pine bark substrate aeration porosity corroborate with the greater water retention capacity reported by Milks et al. (1989). Coarse coconut fiber and pine bark substrate aeration porosity is coherent with the smallest water retention capacity observed at this experiment. That condition is attributed to fibers that create large aeration spaces.

From all evaluated attributes, aeration porosity was the parameter which presented the greater variation coefficient. Its occurrence is given by air structure formation, randomly generated through particle settlement. Given that for FC, CP and FP those volumes represent from 5 to 7% of root growth environment volume and its formation is random, this parameter could reach greater variation levels. These results agree with Caron et al., (2005b), who found a great variability in aeration porosity, attributing it, however, to substrate making.

### **Total Porosity**

The total porosity value measured at fine pine bark substrate was of  $715.6 \text{ L.m}^{-3}$ . For coarse pine bark substrate, total porosity was of  $582.5 \text{ L.m}^{-3}$ . Fine coconut fiber substrate has the same total porosity of fine pine bark one:  $708 \text{ L.m}^{-3}$ . The other way, coarse coconut fiber substrate presented a greater total porosity with higher significant value than the others, of  $871.02 \text{ L.m}^{-3}$ . Fine substrates presented statistically equal total porosity, although high. The statistical similarity of total porosity among fine substrates comes from the fact that both of them presented a large contact surface, given their higher particle segmentation. Coarse coconut fiber substrate presented the highest value at aeration porosity, explained by the air structures formed by their partially-decomposed fibers as well as the fine part that it contains.

### **Comparison among substrates**

During substrate formation process, the pine bark crust decomposition creates particles with colloidal shapes, while the coconut fiber generates both long and colloidal fiber

shapes. The results obtained at granulometric distribution showed differences between the coarse and the fine coconut fiber substrates. Particle constitution was less variable for the coarse pine bark than observed at the coarse coconut fiber substrate. The latter presented strong variation at quantity and quality of the two types of particles. Although internal particle porosity turned out to be an important attribute for watering processes, the smallest particle presence of pine bark substrates could be as important as it.

### **Water retention**

It could be observed that water retention depended on substrate particle sizes. Those ones with fine particles must present a more active capillarity process, contributing to higher water retention. At the fine pine bark and coconut fiber substrates, the retention was of 65.7% and 63.7%, respectively. Water retention in those substrates and that of coarse pine bark substrate (49.4%) corroborates what recommended by Yeager (1995), with ideal values between 45% and 65%. At coarse coconut fiber substrates, there was water retention below the recommended value by the same author, of 37.6%. The highest variation coefficient of retention capacity found at this substrate, of 17.5%, is due to the irregular particle pattern and the strong fiber presence, which interfered into the particle settlement regularity at the container.

### **Microporosity**

Subtracting the aeration porosity from the total porosity, it is possible to estimate the microporosity value responsible for water retention at the substrate. For the fine pine bark substrate, microporosity value was of 657.4L/m<sup>3</sup>, the highest microporosity relation observed among the substrates, with 91.9% of the pore substrate total. Coarse pine bark substrate microporosity is smaller than that of observed for the fine texture with 84,8%. Micropore presence makes effect through capillarity at the water retention processes. Therefore, the smallest microporosity measured at the coarse pine bark substrate is coherent with the smallest water retention capacity.

The fine coconut fiber substrate has, as main component, particles providing microporosity of 90% in relation to total porosity. In this sense, capillary forces operated for water retention at the growth environment and the insignificant fiber presence at this substrate composition did not prevent from a good retention. At the coarse coconut fiber substrate, microporosity constitution represented only 43.2%. This situation was originated from a high

fiber percentage at this substrate.

### **General characteristics**

When fine pine bark and coconut fiber substrates are compared, equal capacity of water retention in volume-base and total porosity could be noticed. However, a greater aeration porosity occurred at the coconut fiber substrate, as well as lower global and particle density which were desirable characteristics.

This fine coconut fiber substrate presented lower substrate weight; not only at particle density but also at substrate one, getting the same water retention as the fine pine bark substrate. The highest aeration porosity of fine coconut fiber substrate with the same total porosity as the fine pine bark substrate revealed a better aeration together with a good water retention capacity. Thus, this substrate presented a better physical characteristic for water relations when wet. Substrate watering difficulty when dried was a negative product characteristic originated from coconut.

### **Conclusion**

According to the hydric, granulometric and morphic substrate characteristics of coconut fiber and pine bark, it has been observed a better substrate adequation for water retention at substrates with finer texture and, consequently, for capillary processes. The coconut fiber substrate revealed owning a better aeration for a high water retention capacity, which has been a positively distinctive characteristic compared with other substrates.

### **Acknowledgment**

The authors acknowledge CNPQ for the financial resources provided to the study, and to AMAFIBRA and MECPLANT companies for the free substrate samples donation.

### **References**

Caron, J; Rivière, L-M and Morel, P. Aeration in growing media containing large particle size. **Acta Horticulturae**, n. 548, p.229-234, 2001.

Caron, J.; Rivière, L-M and Guillemain, G. Gas diffusion and air-filled porosity: Effect of some oversize fragments in growing media. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 8, n.1, p. 57-65, 2005a.

Caron, J.; Elrich, D.E.; Beeson, R.; Boudreau, J. Defining critical capillary rise properties for growing media in nurseries. **Soil Science Society American Journal**, n.69, p.794-806, 2005b.

de Kreij, C., van Elderen, C.W. and Wever, G. Extraction of growing media regarding its water holding capacity and bulk density. **Acta Horticulturae**, n. 548, p.409-414, 2001.

Dilger, D. Container substrate and irrigation. **The woody ornamentalist**. Univ. Florida Dept. Environ. Hort., v.23, n.1, 1998.

Fernandes, C. and Cora, J. E.. Densidade e relação ar/água de substratos hortícolas. **Scientia Agrícola**, v.61, p.446-450, 2004.

Fonteno, W.C. Problems & considerations in determining physical properties of horticultural substrates. **Acta Horticulturae**, v.342, p.197-204, 1993.

Milks, R.R.; Fonteno, W.C. and Larson, R.A. Hydrology of horticultural substrates: III. Predicting air and water content of limited volume plug cells. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.114, p.57-61, 1989.

Pire, R. and Pereira, A. Propriedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela: Propuesta Metodológica. **Bioagro**, v.15, p.55- 63, 2003.

Verdonk, O. and Gabriëls, R. Substrate requirements for plants. **Acta Horticulturae**, v.221, p.19-23, 1988.

Verdonck, O.F., Cappaert, I.M. and De Boodt, M.F. Physical characterization of horticultural substrates. **Acta Horticulturae**, v.82, p.191-200, 1978.

Weerts, A. H. Freijer, J. I. and Bouten, W. Modeling the gas diffusion coefficient in analogy to electrical conductivity using a capillary model. **Soil Science Society of American Journal**, n.64, p.527-532, 2000.

Yeagar, T.H. Container substrate physical properties. **The Woody Ornamentalist**, Univ. Florida Dept. Environ. Hort. v.20, n.1, 1995.

Zanetti, M., Cazetta, J.O., Mattos Júnior, D. and Carvalho, S.A. de. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto do limoeiro “cravo” em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.508-512, 2003.

## **PUBLICAÇÃO 2**

*“Ascensão capilar de água em substratos de fibra de coco e de casca de pinus”*

Submetido à Revista Bragantia em 11/09/2010.

### **Ascensão capilar de água em substratos de fibra de coco e de casca de pinus**

**Resumo:** O uso da irrigação por capilaridade em produção de mudas em viveiros pode trazer vantagens no uso de água e seu emprego adequado requer o conhecimento da capacidade de ascensão de água no meio de crescimento das raízes. Para avaliar esta condição fundamental, este trabalho teve o objetivo de avaliar a ascensão de água em substratos comerciais de fibra de coco e casca de pinus, em dois padrões de tamanho de partículas e em duas condições de umidade, para indicar aquele que possua as melhores características físicas para aplicação na irrigação por capilaridade. No laboratório de hidráulica e irrigação da FEAGRI-UNICAMP foi utilizado o método de ascensão capilar, com colunas desmontáveis de anéis preenchidas com substratos, avaliando-se os seguintes tempos de contato do fundo da coluna com a lâmina de água: 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2, 4, 8, 16 e 24 horas, com 10 repetições por tempo testado. Os resultados demonstraram que a maior ascensão capilar acumulada em 24 horas de ensaio foi obtida para os substratos de textura fina de fibra de coco e de casca de pinus. Além disso, a hidrofobia apresentada pelo substrato de fibra de coco seco recomenda que as irrigações nesse material devam ter frequências maiores que substratos de casca de pinus, evitando o seu secamento. O substrato de casca de pinus, por não apresentar esse comportamento, deve ter turnos de rega mais espaçados, principalmente sob textura fina. Devido à sua maior retenção de água e capacidade de elevação de água quando umedecido, o substrato fino de fibra de coco demonstra-se mais adequado à irrigação por capilaridade em recipientes como tubetes.

**Palavras-chave:** irrigação por capilaridade, produção de mudas, viveiros, física de substratos.

### **Capillary water rise in coconut fiber and pine bark substrates**

**Abstract:** The capillary irrigation in nursery production could give advantages in water use and its correct application demands knowledge about capillary water rise through root growth media. To assess this essential condition, this research had the objective to evaluate water capillary rise in commercial pine and coconut fiber substrates for two particles size distribution and two moisture conditions, to indicate the substrate with best physical characteristics for capillary irrigation. The capillary rise determination method was applied on disassembled rings column filled with substrates, evaluating the following contact durations of

the column bottom with water surface: 15 minutes, 30 minutes, 1 hour, 2 hours, 4 hours, 8 hours, 16 hours and 24 hours, with 10 repetitions per time. The results showed that the fine pine and coconut fiber substrates had the higher water rise during 24 hours test. Moreover, the hydrophobic state presented by coconut fiber substrate indicated high irrigation frequencies for this material in comparison to pine substrate, avoiding that drying conditions become irreversible. The pine bark substrate did not showed this problem, recommending longer irrigation intervals, specially the fine texture one. Due to the greater water holding and water rise capacity for wet conditions, the fine coconut fiber substrate showed more suitable for capillary irrigation in small recipients.

**Key words:** capillarity irrigation, seedlings production, nursery, substrate physics.

### **Introdução**

Um líquido com determinada tensão superficial em contato com uma parede de um recipiente promove os primeiros fenômenos capilares, pelo qual, se tal superfície for molhada é instaurada a ascensão capilar (Libardi, 2005). Segundo esse autor, a capilaridade também está presente na retenção de água de solos devido aos microporos, determinando nas camadas superficiais da zona vadosa um fluxo ascensional de água devido aos processos de evapotranspiração (Berkowitz et al., 2004). No entanto, a atuação da capilaridade é dependente da interação de outros fatores, tais como das características das partículas de solo ao molhamento (Goebel et al., 2004) e o seu envolvimento com produtos hidrofóbicos que geram maiores ângulo de contato na interface do colóide com a água (Bachmann et al., 2000). Adicionalmente, Berkowitz et al. (2004) afirmam que a relação entre partículas e seu potencial mátrico são importantes para ocorrência da ascensão capilar nas camadas acima da franja capilar. As premissas válidas em física de solos são parcialmente aplicáveis para substratos, sendo que Caron and Elrick (2005) constataram que a condutividade hidráulica para substratos varia com o potencial de água no seu interior e que, com valores de umidade próximos à saturação, ocorre uma acentuada elevação da condutividade hidráulica. Caron et al., (2005) afirmam que o uso de substratos com partículas de granulometrias finas também contribui para este fenômeno, pois, segundo Michel et al. (2008), a facilidade ao molhamento deve ser atribuída principalmente ao tamanho ou granulometria das partículas. No entanto, quaisquer alterações no diâmetro dos poros advindos de histerese dificultam os processos de

molhamento, ao passo em que paredes de poros podem ainda apresentar hidrofobia (Blok & Wever, 2008). Segundo estes autores, ainda remanescem indefinições acerca de hidrofobia e dificuldades de molhamento em substratos. Processos como estes são importantes, pois afetam a eficiência de irrigação, que pode limitar o desenvolvimento de plantas cultivadas por capilaridade (Caron & Elrick, 2008). Esse tipo de irrigação vem sendo adotado por produtores de olerícolas que empregam substratos, devido às suas vantagens, como alta eficiência de irrigação, a possibilidade do uso de nutrientes e de aporte de equipamentos e energia para sua operação com nível tecnológico simplificado (Bilderback, 2001), o que permite redução de custos (Chanseetis et al. 2001). Além disso, sistemas de irrigação por capilaridade possibilitam a reutilização da água com fertilizantes solubilizados (Bilderback, 2001), que quando incorretamente dispostos sobre o solo geram contaminação de recursos hídricos (Toshiaki et al., 2004). As características dos sistemas de irrigação por capilaridade se sobressaem aos sistemas de irrigação por aspersão, principalmente quando irriga plantas acondicionadas em pequenos recipientes que aplicam água em toda a superfície, incluindo a área entre contêineres, o que determina baixas eficiências de aplicação (Gervásio, 2003; Yeager 1995, Bilderback, 2001). Dessa forma, as perdas de água nesses sistemas são diretamente proporcionais as áreas cobertas pelas bordas dos recipientes e pela área de suporte da bandeja. Apesar dos conhecimentos existentes sobre a irrigação por capilaridade, faltam metodologias de ensaios e informações de segurança ao agricultor que atestem a real capacidade de ascensão vertical da frente de molhamento no substrato. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o processo de ascensão de água em dois tipos de substratos comerciais apresentando dois padrões de tamanho médio de partículas e sob duas condições de umidade, buscando determinar o substrato com melhor desempenho e analisando o efeito das suas características físicas para aplicação na irrigação por capilaridade.

### **Material e Métodos**

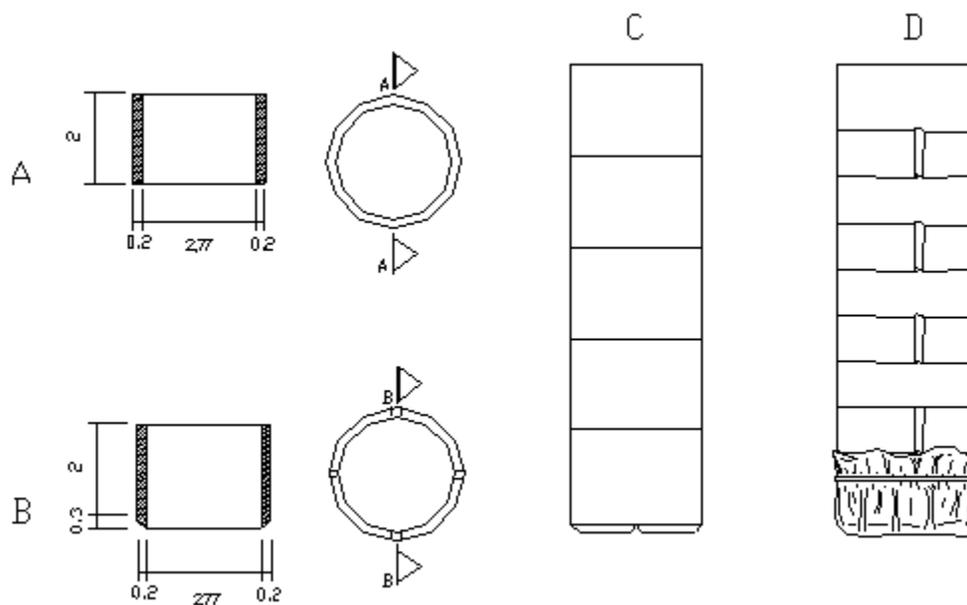
Nos experimentos avaliaram-se substratos de fibra de coco e de casca de pinus para dois padrões de granulometria de partículas: partículas finas e grosseiras sob duas condições de umidade inicial do material. Foram utilizados os substratos Mecplant® de pinus G12 (grosseiro) and F24 (fino) e os Amafybra® de fibra de coco, textura fina granular Golden Mix® e grosseira de fibra de coco Golden Mix® fibroso. A composição granular de cada substrato é demonstrada na Tabela 1.

**Tabela 1. Distribuição percentual (%) do tamanho de partículas para os substratos fino de casca de pinus (PF), grosseiro de casca de pinus (PG), fino de fibra de coco com componentes granulares (CF – G) e fibrosos (CF – F) e grosseiro de fibra de coco de componentes granulares (CG – G) e fibrosos (CG – F).**

Substrato	-----Peneira-----						
	<0,25	0,25	0,5	1	2	4,7	6,3
PF	14,79	14,4	30,2	23,7	16,68	0,14	0,09
PG	11,68	10,86	22,44	19,54	31,76	2,58	1,15
CF - G	11,68	19,1	37,61	24,3	5,43	0,31	0,72
CF - F	0	0,03	0,31	0,77	0	0	0
CG - G	6,73	9,32	15,82	11,63	0	0	0
CG - F	2,69	3,11	8,24	4,41	5,61	0	32,46

Para se avaliar o efeito da umidade presente no substrato na sua capacidade em desenvolver a ascensão capilar, ensaiaram-se esses meios de crescimento para duas condições de umidade: substrato com umidade de comercialização, que era de  $0,29 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para substrato fino de pinus,  $0,28 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para o substrato grosseiro de pinus,  $0,27 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para o substrato fino de coco e  $0,07 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para o substrato grosseiro de coco; e substrato seco ao ar cuja umidade era de  $0,03 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para os substratos fino e grosseiro de pinus e  $0,01 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para os substratos fino e grosseiro de coco. Os substratos foram secos ao ar por durante 3 semanas sobre superfície de lona plástica, com revolvimentos diários. O uso de substratos sob esta última condição de umidade tinha o objetivo de fazer indicações sob segurança do meio de crescimento e, tornar-se um padrão de análise física de substratos. A técnica adotada para esse trabalho derivou-se da metodologia desenvolvida por Goebel et al. (2004) na determinação da ascensão capilar de água em solos. A principal adaptação foi a utilização de cilindros construídos a partir de tubos de PVC DN 25, com 10 cm de altura útil segmentados em anéis de 2 cm, onde as amostras de substrato foram dispostas.

Os anéis cilíndricos foram conectados em número de 5 anéis, todos com 2 centímetros de altura, exceto o primeiro que possuía 3 mm a mais que os demais, para permitir o contato com a água na formação de zona de saturação (Figura 1). A capacidade útil de cada cilindro era de  $60,25 \text{ cm}^3$ , com  $12,05 \text{ cm}^3$  para cada anel, inclusive para o primeiro, pois o volume adicional de  $1,8 \text{ cm}^3$  de volume decorrentes da sua maior altura, não foi amostrado. Na



**Figura 1: Esquema da coluna desmontável, detalhando um anel intermediário (A), do primeiro anel com 3 mm de altura a mais e fundo em bisel (B), cilindros empilhados (C) e a montagem de cilindros (D).**

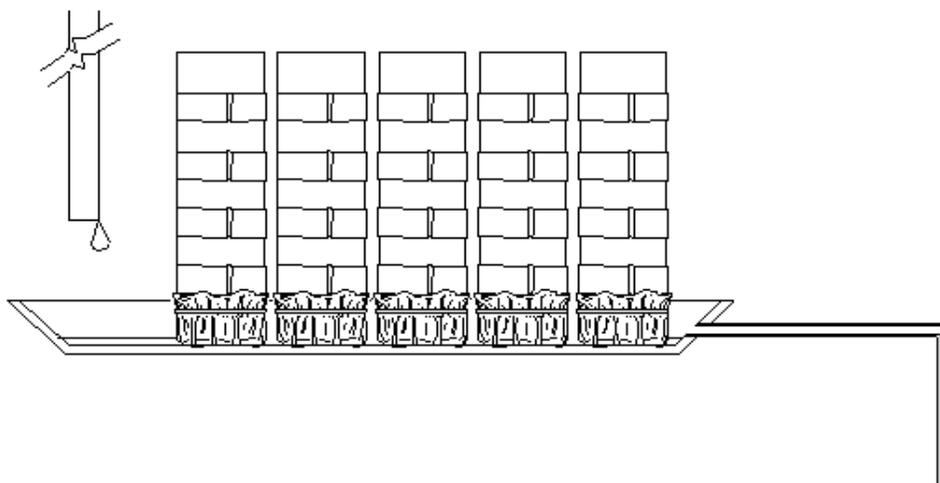
parte inferior deste anel foi fixado um tecido utilizando-se um elástico para evitar a perda de material. A ligação dos anéis foi realizada por meio de fitas adesivas de PVC, conforme esquema também apresentado na Figura 1, juntamente com outros componentes já descritos.

A saturação dos substratos, a partir do anel inferior, foi realizada por contato do material com um espelho de água de 3 mm de espessura, formando assim uma camada saturada de 3 mm de altura na base dos cilindros. No início do processo de saturação dos substratos ocorreu expansão de seu volume com o aumento da umidade, principalmente nos substratos secos ao ar. Esse comportamento impossibilitou o cálculo de densidade do substrato no momento em que o cilindro foi colocado em contato com a água e do valor da umidade com base em volume para o momento em que o tempo de saturação era igual a zero minuto.

Com o valor da umidade inicial, foi determinada a umidade (%) do substrato antes do preenchimento dos cilindros multiplicada pelo valor médio da densidade. Este último parâmetro foi obtido após a retirada dos substratos dos anéis, sua secagem e divisão do valor da massa pelo volume do anel.

A Figura 2 apresenta um esquema do sistema de saturação das amostras, onde os cilindros com os substratos eram saturados em um recipiente que possuía uma alimentação

que permitia manutenção de uma lâmina constante com 3 mm de água, formando uma zona de saturação interna no cilindro na região de contato com a água.



**Figura 2: Esquema do sistema de saturação dos cilindros com substrato.**

Para determinação do movimento ascendente da água por capilaridade, estimou gravimetricamente os valores da umidade de cada amostra segmentada de substrato, com base em massa seca, nos seguintes tempos de saturação dos substratos: 15 minutos, 30 minutos, e 1, 2, 4, 8, 16 e 24 horas. A cada intervalo de tempo de saturação, o cilindro era desmontado e o substrato em seu interior era inteiramente retirado para avaliação. Os volumes de substratos eram então secos em cadinhos de papel alumínio durante 24 horas a 65°C, e em seguida pesados novamente. Determinou-se a umidade volumétrica ( $\theta$ ) com os valores de umidade gravimétrica (%) e densidade dos substratos. Foram realizadas 10 repetições para cada tratamento testado, sob delineamento estatístico de amostras inteiramente casualizado com teste de Scott – Knott,  $p > 0,05$ . Para a análise estatística utilizou-se o programa Sisvar recomendado por Ferreira (2000).

A taxa de ascensão capilar foi calculada com base nos valores totais de água armazenada na coluna, somando-se os conteúdos de umidade de cada anel. Assim, os valores foram calculados usando a diferença entre a umidade anterior e a presente no momento de sua medição de cada anel. O volume de água retido entre a leitura anterior e a leitura presente foi dividido pelo valor do intervalo de tempo entre as leituras, gerando a taxa de ascensão capilar de água em volume por hora. Dividindo-se este valor pelo área de 5,98 cm<sup>2</sup> do cilindro foi

obtida a taxa de ascensão de água na coluna em  $(\text{cm}^3/\text{cm}^2)/\text{h}$ .

## **Resultados e Discussão**

### **Substrato de casca de pinus com granulometria fina**

Observando a Tabela 2, nota-se que a ascensão capilar ocorreu desde os primeiros instantes em que houve contato do cilindro com a água no substrato fino de pinus sob  $0,03 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  de umidade. Na avaliação de 16 horas, o molhamento do anel a 9 cm de altura foi medido em nível estatisticamente significativo, representando apenas 31% dos anéis a 1 cm de altura. No entanto nos anéis de 5 e 7 cm é notada a tendência de equalização do nível de umidade com os anéis abaixo.

O substrato fino de casca de pinus seco ao ar não apresentou hidrofobia, e dado que a frente de molhamento capilar atingiu o topo do cilindro antes das 24 horas, revelou-se ausência de dificuldades de molhamento. A diferença de umidade entre os anéis da base e do topo do cilindro é comum a todo substrato containerizado Fermino (2002). A mesma autora afirma que a altura do recipiente exerce uma importante influência nas condições hídricas do meio de crescimento. Recipientes altos tendem a apresentar redução no conteúdo de água na medida do seu distanciamento da base (Milner, 2002), e recipientes baixos tendem a apresentar fácil saturação do meio (Fermino, 2002) pelo fato de a parte inferior apresentar níveis de saturação similares a de lençóis freáticos (Nelson, 2003). Embora durante todo o período estudado houvesse estratificação da umidade no cilindro, o aumento de seus valores foi gradativo para todas as alturas. Por estes motivos, pode-se considerar que o substrato apresenta condições de ascensão capilar adequada e segura para manejo da irrigação por capilaridade.

Na Tabela 3 é mostrado que a frente de umedecimento atingiu rapidamente as diferentes alturas da coluna de substrato fino de casca de pinus umedecido a  $0,29 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ , no entanto, até 8 horas após o início da saturação, a frente de umedecimento ficou praticamente restrita até a altura de 7 cm. Entre 8 e 16 horas de teste é possível verificar que a frente de molhamento atingiu o ultimo anel a 9 cm de altura. Nos primeiros 15 minutos, a umidade a 1 cm de altura era 111.5% maior que a umidade a 9 cm de altura, onde a umidade não havia ainda se modificado. Esta condição foi mantida até 8 horas de teste, com pequenas variações. Até este tempo de teste, a frente de molhamento capilar aumentou a umidade até 7 cm de

altura, sem, no entanto causar mudanças no anel superior.

**Tabela 2: Valores de umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) com níveis de significância estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato fino de casca de pinus sob condições de umidade seco ao ar.**

Altura da coluna (cm)	Tempo de Saturação.....							
	15 (min.)	30 (min.)	1 (hora)	2 (horas)	4 (horas)	8 (horas)	16 (horas)	24 (horas)
9	0,03 g	0,03 g	0,03 g	0,03 g	0,03 g	0,04 g	0,23 f	0,32 e
7	0,03 g	0,03 g	0,03 g	0,03 g	0,19 f	0,26 e	0,42 d	0,46 c
5	0,03 g	0,03 g	0,06 g	0,28 e	0,40 d	0,41 d	0,47 c	0,52 c
3	0,04 g	0,33 e	0,50 c	0,62 b	0,62 b	0,63 b	0,70 a	0,68 a
1	0,59 g	0,64 b	0,66 b	0,73 a	0,74 a	0,72 a	0,74 a	0,72 a

Comparativamente ao anel do topo (9 cm de altura), a umidade no anel a 1 cm de altura foi 133.3% maior. De uma forma geral, os aumentos de umidade foram mais relevantes nos anéis a 1 e 3 cm de altura. O incremento de umidade nos anéis de 3 e 5 cm nos primeiros 15 minutos revela uma condição diferente de capacidade de transmissão de água por capilaridade entre substratos secos e umedecidos com granulometria fina. Este resultado é similar ao comportamento encontrado em solos, onde a condutividade hidráulica é maior no substrato umedecido do que para o meio seco (Caron and Elrick, 2005). O anel superior aumentou pouco sua umidade devido provavelmente ao efeito da demanda atmosférica que aumentou o fluxo de vapor da água no anel superior.

**Tabela 3: Valores de umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) com níveis de significância estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato fino de casca de pinus sob condições de umidade de comercialização.**

Altura da coluna (cm)	Tempo de saturação .....							
	15 (min.)	30 (min.)	1 (hora)	2 (horas)	4 (horas)	8 (horas)	16 (horas)	24 (horas)
9	0,26 m	0,25 m	0,26 m	0,26 m	0,27 m	0,27 m	0,30 l	0,30 l
7	0,29 l	0,26 m	0,29 l	0,34 k	0,34 k	0,34 k	0,35 j	0,34 k
5	0,31 l	0,33 k	0,34 j	0,37 j	0,39 i	0,38 i	0,42 h	0,39 i
3	0,42 h	0,43 h	0,45 g	0,45 g	0,49 f	0,47 g	0,49 f	0,46 g
1	0,55 e	0,57 d	0,59 c	0,62 b	0,65 a	0,63 b	0,65 a	0,65 a

### Substrato de casca de pinus com granulometria grosseira

Conforme é demonstrado na Tabela 4, para o substrato grosseiro de casca de pinus seco ao ar sob umidade de  $0,03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , a frente de molhamento atingiu sensivelmente o anel a 5 cm de altura em 2 horas de saturação. Com 16 horas de experimento a frente de molhamento capilar alcançou o anel superior do cilindro, com a umidade nesse anel representando 45% da quantidade de água armazenada a 1 cm de altura. Às 24 horas de ensaio houve aumento relevante da umidade a 9 cm de altura, acarretando maior uniformidade no perfil, o que não foi observado no substrato fino de casca de pinus sob ambas as condições de umidade. Tal efeito pode ser atribuído à reduzida fração de partículas finas, responsável por ascender mais água nos anéis próximos à água, elevando a umidade a valores próximos à saturação. Por outro lado, a granulometria grosseira do substrato atribuiu menor capacidade de armazenamento de água no meio, quando comparados com o substrato de granulometria fina. O substrato grosseiro de casca de pinus seco ao ar não apresentou sinais de hidrofobia, principalmente, quando foi constatado que a frente de umedecimento capilar atingiu o topo do cilindro antes das 24 horas de ensaio, revelando boa capacidade de molhamento ao longo do cilindro. A granulometria grosseira do substrato de casca de pinus não impediu o processo de ascensão capilar, no entanto, comparativamente com o substrato fino (Tabela 2) houve menor volume de água ascendido. Embora esse substrato tenha apresentado condições suficientes para promover a irrigação por capilaridade, nota-se que baixos valores de umidade podem ocorrer, comprometendo a eficiência de molhamento do perfil.

**Tabela 4: Valores de umidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) com níveis de significância estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato grosseiro de casca de pinus seco ao ar.**

Altura da coluna (cm)	-----Tempo de saturação-----							
	15 (min.)	30 (min.)	1 (hora)	2 (horas)	4 (horas)	8 (horas)	16 (horas)	24 (horas)
9	0,03 h	0,03 h	0,03 h	0,03 h	0,04 h	0,04 h	0,27 f	0,40 c
7	0,03 h	0,03 h	0,03 h	0,03 h	0,17 g	0,19 g	0,34 d	0,38 c
5	0,03 h	0,03 h	0,09 h	0,20 g	0,34 d	0,28 e	0,40 c	0,44 c
3	0,05 h	0,17 g	0,37 c	0,39 c	0,44 c	0,40 c	0,48 b	0,52 b
1	0,53 b	0,55 b	0,51 b	0,61 a	0,59 a	0,54 b	0,60 a	0,64 a

Observando a Tabela 5, nota-se que no substrato grosseiro de casca de pinus umedecido a  $0,28 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ , a frente de molhamento capilar foi mais lenta que os outros tratamentos, sendo que o umedecimento não foi efetivo em toda a coluna de substrato.

Na camada superior, a 9 cm de altura, houve redução na quantidade de água, provavelmente devido ao efeito da evaporação atmosférica. O fraco molhamento capilar aliado com a redução do nível de umidade das camadas superiores remete ao fato que o substrato grosseiro de casca de pinus não tem propriedades físicas capazes de conduzir água por uma coluna de substrato de 9 cm de altura. Este substrato úmido apresentou menor quantidade de água elevada pela coluna e menor altura de ascensão de água quando comparado com o substrato fino umedecido.

**Tabela 5: Valores de umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) com níveis de significância estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato de casca de pinus grosseiro umedecido comercialmente.**

Altura da coluna (cm)	-----Tempo de saturação-----							
	15 (min.)	30 (min.)	1 (hora)	2 (horas)	4 (horas)	8 (horas)	16 (horas)	24 (horas)
9	0,27 k	0,27 k	0,27 k	0,26 k	0,25 l	0,24 l	0,22 m	0,23 m
7	0,27 k	0,27 k	0,27 k	0,27 k	0,29 j	0,30 i	0,29 j	0,31 i
5	0,27 k	0,29 j	0,28 j	0,29 j	0,32 h	0,35 g	0,32 h	0,34 g
3	0,28 j	0,30 i	0,34 g	0,35 g	0,38 f	0,39 e	0,35 g	0,39 e
1	0,37 f	0,40 e	0,48 c	0,44 d	0,50 b	0,52 a	0,50 b	0,49 b

De uma forma geral, os substratos de casca de pinus secos não hidrofóbicos possuem maior gradiente de potencial hídrico em relação às zonas saturadas, traduzindo em maior volume de água adsorvido, sem, no entanto, transmiti-lo rapidamente para camadas superiores.

### **Substrato de fibra de coco com granulometria fina**

Na Tabela 6 nota-se que, comparativamente ao substrato fino de casca de pinus seco ao ar sob umidade de  $0,01 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ , o substrato de fibra de coco apresentou menor umidade ao longo do seu perfil nessa mesma condição de granulometria. A quantidade de água armazenada nessa condição de substrato foi de  $0,01 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ , enquanto para o substrato de casca de pinus foi de  $0,03 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ . Esse comportamento pode ser explicado pela condição

hidrofóbica atingida pela fibra de coco após a exposição ao poder dessecante da atmosfera.

**Tabela 6: Valores de umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) com níveis de significância estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato fino de fibra de coco seco ao ar.**

Altura da coluna (cm)	-----Tempo de saturação-----							
	15 (min.)	30 (min.)	1 (hora)	2 (horas)	4 (horas)	8 (horas)	16 (horas)	24 (horas)
9	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e
7	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e
5	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e
3	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e
1	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,04 d	0,07 c	0,15 b	0,26 a

O comportamento apresentado pelo substrato de fibra de coco na condição de seco ao ar dificulta o seu uso para condições de manejo hídrico com baixa frequência de irrigação, pela possibilidade de ocorrer um secamento desse meio de crescimento. O uso deste substrato na irrigação por capilaridade implica em risco para o sistema de produção, tornando-o susceptível a quebras ou redução de produtividade devido à baixa uniformidade de distribuição de água.

Essa característica hidrofóbica da fibra de coco nessa condição de umidade pode ser explicada pela presença de tanino em sua composição. Apesar de que no processo industrial para produção de substrato de fibra de coco haver uma etapa obrigatória de lavagem das fibras para remoção de tanino e outras substâncias (Carrijo et al., 2002), Brígida e Rosa (2003), afirmam que no pericarpo de coco verde a percentagem de tanino pode chegar a de 6,0% sobre o peso total, e que sob condição de baixa umidade, a presença residual de tanino pode tornar-se significativa. De acordo com Silva (1999), o tanino pode ser considerado um polímero natural que neutraliza cargas, determinando características adstringentes a fibra, podendo influenciar o comportamento da fina camada envolvente dos colóides. Embora esta substância seja solúvel, a baixa quantidade de água pode gerar uma solução com alta concentração devido ao reduzido volume de água de constituição residual nas partículas. Contrariamente, quando esse substrato se apresenta úmido, os resíduos de tanino podem se tornar insignificantes em seus efeitos reduzidos devido à grande diluição. No entanto, mesmo em condições de

predominância de partículas finas no substrato de fibra de coco, fator que Michel et al. (2008) preconizam para ocorrer facilidade de molhamento, a hidrofobia quando presente é uma condição que pode ser definida como fator dominante no processo.

Observando o processo de umedecimento na Tabela 7, é possível verificar que houve um rápido molhamento do perfil do substrato fino de coco sob  $0,27 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  de umidade. Aos 30 minutos de teste ocorreu aumento na umidade com a frente de molhamento atingindo o topo do cilindro. A umidade na camada de 1 cm foi 117% maior do que a observada nas camadas de 7 e 9 cm de altura.

Esse substrato pode transmitir água para camadas superiores via capilaridade, porém, sujeito à dessecação atmosférica.

**Tabela 7: Valores de umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) com níveis de significância estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato fino de fibra de coco com umidade comercial.**

Altura da coluna (cm)	-----Tempo de saturação-----							
	15 (min.)	30 (min.)	1 (hora)	2 (horas)	4 (horas)	8 (horas)	16 (horas)	24 (horas)
9	0,26 l	0,29 k	0,29 k	0,30 j	0,27 l	0,28 k	0,31 j	0,26 l
7	0,27 l	0,29 k	0,30 j	0,32 i	0,31 j	0,32 i	0,33 i	0,33 i
5	0,32 i	0,33 i	0,35 i	0,38 h	0,38 h	0,37 h	0,38 h	0,38 h
3	0,42 h	0,44 g	0,43 g	0,47 f	0,47 f	0,48 f	0,48 f	0,50 f
1	0,61 e	0,63 e	0,66 d	0,72 b	0,69 c	0,74 a	0,69 c	0,75 a

#### **Substrato de fibra de coco com granulometria grosseira**

O substrato de fibra de coco grosseiro seco ao ar sob umidade de  $0,008\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$  não apresentou ascensão de água ao longo da coluna. Este comportamento é o mesmo observado para o substrato fino de fibra de coco nessa condição de umidade (Tabela 7), mas com o agravamento do efeito gerado pela maior fração de partículas grandes presentes no substrato. Essa constituição fibrosa reduz o contato entre partículas, reduzindo a chance da ascensão capilar, como pode ser visto na Tabela 8.

Fica evidente pela Tabela 9, que o substrato grosseiro de fibra de coco umedecido a  $0,07 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  apresentou fraco efeito de ascensão capilar. A natureza do substrato aliada à baixa percentagem de componentes finos são os fatores determinantes desse comportamento,

além de reduzir o armazenamento de água ao longo da coluna.

**Tabela 8: Valores de umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) com níveis de significância estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato grosseiro de fibra de coco seco ao ar.**

Altura da coluna (cm)	-----Tempo de saturação-----							
	15 (min.)	30 (min.)	1 (hora)	2 (horas)	4 (horas)	8 (horas)	16 (horas)	24 (horas)
9	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e
7	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e
5	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e
3	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e
1	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,01 e	0,02 d	0,022 c	0,025 b	0,03 a

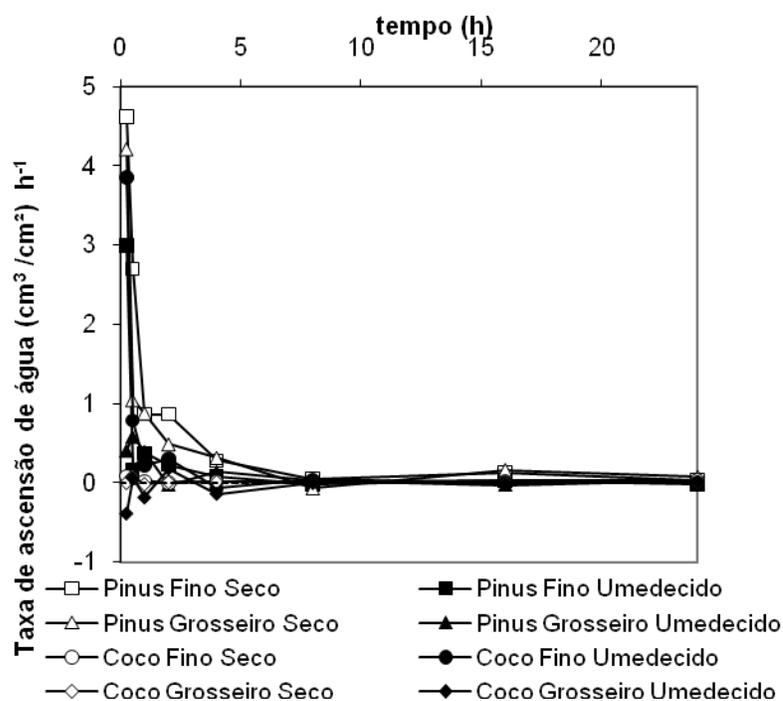
Pode-se afirmar que este substrato não apresentou ascensão capilar, apresentando presença da franja capilar no primeiro anel. Como consequência desta característica, ocorre perdas de água na coluna, demonstrada na Figura 3. Outro fator que colabora para o comportamento apresentado por esse substrato é sua excessiva aeração, causada pela quantidade de fibras grosseiras em um pequeno recipiente. Desta forma, esse substrato não pode ser empregado no uso de pequenos recipientes, pois seus componentes excessivamente alongados formam estruturas de aeração que atribuem a não continuidade ao meio, comprometendo a ascensão capilar.

**Tabela 9: Valores de umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) com níveis de significância estatística de acordo com a posição vertical durante o tempo de teste para o substrato grosseiro de fibra de fibra de coco umedecido.**

Altura da coluna (cm)	-----Tempo de saturação-----							
	15 (min.)	30 (min.)	1 (hora)	2 (horas)	4 (horas)	8 (horas)	16 (horas)	24 (horas)
9	0,06 c	0,06 c	0,04 d	0,04 d	0,01 f	0,01 f	0,01 f	0,01 f
7	0,06 c	0,06 c	0,05 d	0,06 c	0,03 e	0,04 d	0,02 f	0,01 f
5	0,06 c	0,07 c	0,05 d	0,07 c	0,04 d	0,04 d	0,03 e	0,04 d
3	0,06 c	0,07 c	0,06 c	0,08 c	0,05 d	0,05 d	0,05 d	0,06 c
1	0,11 b	0,09 b	0,10 b	0,15 a	0,12 b	0,11 b	0,12 b	0,12 b

### Considerações sobre os substratos estudados

Para os substratos de casca de pinus em ambas as condições de granulometria e de umidade e para o substrato de fibra de coco fino na condição umedecida notou-se que o aumento de umidade na camada a 1 cm atingiu valores próximos a capacidade contêiner logo após seu contato com a água, enquanto as camadas superiores apresentaram continuidade no aumento da umidade. O comportamento observado para a primeira camada é devido à franja capilar, que permitiu um rápido molhamento com redução do gradiente de energia potencial entre as partículas e a água. Simultaneamente à redução do gradiente de potencial matricial na primeira camada, a afinidade por água por camadas superiores tornou-se um fator importante para a continuidade na ascensão de água para regiões superiores com menor umidade, porém de forma mais pronunciada no substrato seco. A ascensão de água dá-se por força de energias matriciais eletronegativas do substrato e em contraposição ao potencial gravitacional (Libardi, 2005). A energia gravitacional é responsável pelo maior armazenamento de água no fundo do recipiente, independentemente da capacidade de ascensão capilar do meio de crescimento de raízes. A Figura 3 apresenta a variação da taxa de ascensão capilar volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ ) para os tratamentos avaliados durante as 24 horas de ensaio.



**Figura 3. Variação da taxa de ascensão de água para as colunas de substratos durante as 24 horas de ensaio.**

Ao observar a Figura 3 nota-se que os substratos de casca de pinus em textura fina e grosseira foram aqueles que melhor adsorveram água. As taxas de ascensão de água na coluna de substrato fino de casca de pinus secos ao ar foram para 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2, 4, 8, 16 e 24 horas, respectivamente, 4,58; 2,68; 0,86; 0,86; 0,28; 0,04; 0,12 e 0,04  $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \text{ h}^{-1}$ . Para o substrato grosseiro de casca de pinus essas taxas ao longo do tempo foram de 4,19; 1,09; 0,87; 0,48; 0,31; -0,07; 0,16; 0,07  $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \text{ h}^{-1}$ . Estes substratos mantiveram por maior tempo do experimento as maiores taxas de ascensão de água por capilaridade quando umedecido. Este comportamento pode ser atribuído à diferença de potencial ser maior entre a zona saturada e a coluna de substrato seca e não hidrofóbica. De outro lado, o substrato fino de fibra de coco, hidrofóbico quando seco ao ar, apresenta ótima capacidade de ascensão de água por capilaridade quando umedecido. Este substrato apresentou a melhor taxa de ascensão de substratos molhados devido às suas propriedades matriciais. As taxas de ascensão para o substrato fino de fibra de coco molhado são 3,83; 0,78; 0,22; 0,30; -0,072; 0,038; e 0  $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \text{ h}^{-1}$ . Para o mesmo período estudado, o substrato fino de casca de pinus molhado apresentou os seguintes valores: 2,97; 0,16; 0,37; 0,22; 0,08; -0,02; 0,03 e -0,02  $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \text{ h}^{-1}$ .

Apresentando baixas taxas de ascensão de água, os substratos grosseiros de fibra de coco e de casca de pinus apresentaram perdas de água. O primeiro, quando seco apresenta hidrofobia, da mesma forma que o substrato fino também de fibra de coco. Mas ao contrário do substrato fino de fibra de coco, o substrato grosseiro molhado apresenta ascensão capilar nula e perdas de água, traduzindo em taxas negativas. As taxas de ascensão acumuladas para o substrato grosseiro de fibra de coco molhado foram -0,38; 0,062; -0,18; 0,17; -0,13; -0,0017, -0,001 e 0  $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \text{ h}^{-1}$ . Esse comportamento ocorre pelo excesso de fibras grosseira, que formam estruturas abertas que atribui não continuidade ao meio, comprometendo o contato entre partículas, essencial à ascensão capilar de água. O substrato grosseiro de casca de pinus molhado apresentou taxas de ascensão capilar intermediárias para o período estudado, 0,40; 0,577; 0,389; -0,03; 0,13; 0,02; -0,03 e 0,02  $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \text{ h}^{-1}$ . A variação das condições atmosféricas no momento dos ensaios, aliada à variação das propriedades físicas dos substratos podem ser responsáveis pela oscilação com valores negativos. Essa hipótese é válida tanto para as variações ocorridas no substrato fino de fibra de coco umedecido como para o substrato grosseiro de casca de pinus umedecido.

## **Conclusão**

O substrato fino de casca de pinus é adequado para a irrigação por capilaridade em tubetes, pois possibilita o molhamento do meio com baixo contato da lâmina de água. O mesmo substrato em textura grosseira é inadequado para irrigação em tubetes de 50 cm<sup>3</sup>, pois demanda maior elevação da lâmina de água para vencer o ressecamento atmosférico.

O substrato fino de fibra de coco é adequado para a irrigação por capilaridade em tubetes de 50 cm<sup>3</sup> por empregar menor elevação do lençol de água no perfil. O manejo hídrico desse substrato deve ser criterioso cauteloso, pois elevações excessivas de lâmina de água podem acarretar em problemas por excesso de umidade devido à sua alta retentividade, e por outro lado, negligenciar a manutenção da umidade em camadas superiores do substrato pode acarretar em hidrofobia. O substrato grosseiro de fibra de coco não deve ser empregado sob nenhuma condição para irrigação por capilaridade em pequenos recipientes.

## **Agradecimentos**

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo apoio financeiro e às empresas Mec Plant e Amafibra- Fibras e Substratos Agrícolas da Amazônia Ltda., pelo fornecimento dos substratos testados.

## **Referências Bibliográficas**

Bachmann, J.; Horton, R.; van der Ploeg, R.R.; Wochea, S. Modified sessile drop method for assessing initial soil-water contact angle of sandy soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.564-567, March-April, 2000.

Berkowitz, B.; Silliman, S.E.; Dunn, A.M. Impact of the capillary fringe on local flow, chemical migration and microbiology. **Vadose Zone Journal**, Madison, v.3, p. 534-548, 2004.

Bilderback, T.E. Environmentally compatible container plant production practices. **Acta Horticulturae**, 548, ISHS, p. 311-317, 2001.

Blok, C. and Wever, G. Experience with selected physical methods to characterize the suitability of growing media or plant growth. **Acta Horticulturae**, v.779, p. 239-248, 2008.

Brígida, A.I.S. e Rosa, M. de F. Determinação do teor taninos na casca de coco verde (cocos nucifera). **Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.**, v.47, p. 25-27, October, 2003.

Caron, J. and Elrick D. E. Measuring the unsaturated hydraulic conductivity of growing media

- with a tension disc. **Soil Science Society American Journal**, v.69, p.783-793, 2005.
- Caron, J. and Elrick, D.E. Defining critical capillary rise properties for growing media: Model and methodology. **Acta Horticulturae**, v.779, p.149-153, 2008.
- Caron, J.; Elrick, D.E.; Beeson, R.; Boudreau, J. Defining critical capillary rise properties for growing media in nurseries. **Soil Science Society American Journal**, v.69, p.794-806, 2005.
- Carrijo, O.A.; de Liz, R.S. and Makishima, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.4, p. 533-535, 2002.
- Chanseetis, C.; Shinohara, Y.; Takagaki, M.; Maruo, T.; Hohjo M. and Ito, T. Application of capillary hydroponic system to the lettuce growing under tropical climate conditions. **Acta Horticulturae**, 548, p.401-407, 2001.
- Fermino, M.H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: **Encontro Nacional de Substratos Para Plantas**, 3, 2002, Campinas. (org.) Furlani, A.M.C.
- Ferreira, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In...**Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria**, 45, 2000, São Carlos, Anais...São Carlos: UFSCAR, p.255-258, Julho de 2000.
- Gervásio, E.S. **Efeito de lâminas de irrigação e doses de condicionador, associadas a diferentes tamanhos de tubetes, na produção de mudas de cafeeiro**. 105 f. Tese (doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba. 2003.
- Goebel, M.-O., Bachmann, J., Woche, S.K., Fisher, W.R., Horton, R. Water Potential and Aggregate Size Effects on Contact Angle and surface Energy. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.68, n.2, p. 383 – 393, March – April, 2004.
- Libardi, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335 p.
- Michel, J.C.; Naasz, R.; Charpentier, S.; Caron, J. Water repellency of organic growing media and its consequences on their hydraulic properties. **Acta Horticulturae**, 779, p.121-129, 2008.
- Milner, L. Manejo de irrigação e fertirrigação em substratos. In: **Encontro Nacional de substratos para plantas**, 2003, Campinas. (org.) Furlani, A.M.C., Bataglia, Abreu, M.F., Abreu, C.A., FURLANI, P.R., QUAGGIO, J.A. MINAMI, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 119, 2002. p.45-52.
- Minami, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 119, 2002. p.29-38.
- Nelson, P.V. **Greenhouse operation & Management**. Upper Saddle River: New Jersey. 2003.

692 p.

Pire, R. and Pereira, A. Propriedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela: Propuesta Metodológica. **Bioagro**. v.15, p. 55- 63, 2003.

Silva, T. S. S. da. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. 88 p. (Mestrado) Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, 1999.

Toshiaki, A.M., Higashiura, M., Yokoyama, T., Okubo, H., Nakagawa, H., Kajihara, A. Spatial distribution of ions in groundwater under agricultural land. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.130, n.6, November-December, p.468, 2004.

Yeager, T.H. Container Substrate Physical Properties. **The Woody Ornamentalist**, Environmental Horticulture Department, University of Florida, v.20, n.1, 1995.

### **PUBLICAÇÃO 3**

*“Dinâmica do potencial matricial em substratos de casca de pinus e de fibra de coco sob ação da capilaridade”*

Submetido à Revista Horticultura Brasileira em 01/09/2010.

## **Dinâmica do potencial matricial em substratos de casca de pinus e fibra de coco sob ação da capilaridade**

**Resumo:** O tamanho médio de partículas e a porosidade dos substratos condicionam as propriedades matriciais do meio, interferindo na capacidade de retenção e capacidade de transmissão da água no meio. O conhecimento desses atributos é fundamental em processos de irrigação por capilaridade, de forma a possibilitar que o molhamento atinja camadas superiores dos recipientes com níveis de tensão de água sob a forma de facilmente disponível. O presente trabalho teve o objetivo de estudar a ascensão de água por capilaridade para se determinar a posição mais apropriada do nível de saturação na ascensão capilar de plantas cultivadas em recipientes com substratos de fibra de coco e de casca de pinus em dois níveis de granulometria: textura grosseira e fina. Foram efetuados ensaios de ascensão de água por capilaridade em colunas segmentadas preenchidas com os substratos avaliados, com os valores de umidade em cada segmento calculados gravimetricamente e relacionados aos valores de tensão estimados pela curva de retenção dos substratos. Os resultados demonstraram que os substratos com textura fina apresentaram melhor elevação de água por capilaridade, com melhor elevação da umidade em níveis de tensão de água disponível. O substrato de fibra de coco fino apresentou água disponível em todo o perfil do recipiente, ao contrário do substrato de casca de pinus, que apresentou nas camadas superiores do recipiente água retida em tensões abaixo do ponto de murcha permanente. O substrato fino de fibra de coco apresentou os melhores resultados para aplicação na irrigação por capilaridade, permitindo recomendar o seu uso com o nível de saturação posicionado a 5 cm do fundo do recipiente por 15 minutos.

**Palavras-chave:** Água facilmente disponível, subirrigação, meio de crescimento de raízes.

## **Dynamics of matric potential in pine bark and coconut fiber substrate during capillary water rise**

**Abstract:** The average particle size and porosity of substrate affect the matrix properties of root growth media, interfering in water holding and water conductivity capacity through substrate. The knowledge of these attributes is essential in capillary irrigation processes to allow the wetting front reaches upper layers under easily available water tension.

The present work had the objective to study the water rise by capillary processes to determine the most favorable position of the saturation level for contained plants for two substrates: coconut fiber and pine bark, with two grain particle sizes: fine and coarse textures. Water rise trails were performed in segmented columns filled with substrates. The water content in each column segments were estimated in weigh basis and related to the values of water tension estimated by the water tension curve for each evaluated substrate. The results showed that that fine substrates presented higher water rise with adequate levels of easily available water. The fine coconut fiber substrate presented easily available water in the entire substrate column, unlike pine bark substrate that showed the upper layer with moisture below the wilting point. The fine coconut fiber substrate showed the best results for capillary application, allowing to recommend irrigation schedule using the saturation level at 5 cm during 15 minutes.

**Key words:** Easily available water, subirrigation, root growth media.

### **Introdução**

Os substratos utilizados na produção agrícola em recipientes, como os de turfa, pinus, tortas de filtro ou de outros materiais orgânicos apresentam diferentes características físicas como porosidade, aeração ou capacidade de retenção de água (Verdonk et al., 1983). A natureza desses substratos determina diferenças nos processos de molhamento e secagem, sendo observada uma histerese menor nesses processos nos substratos de pinus (Naasz et al., 2005). O conhecimento do valor do potencial mátrico do substrato permite a inferência da sua umidade atual, e a estimativa da condutividade hidráulica (Caron and Elrick, 2005). O monitoramento do potencial mátrico apresenta a vantagem de ser mais preciso do que as técnicas de pesagens em manejo hídrico, pelo fato de substratos apresentarem variações de densidade, porosidade e distribuição de partículas (Landis, 1989). Adicionalmente, o conhecimento do potencial mátrico do substrato torna possível a determinação da tensão ótima para irrigação, evitando-se a ocorrência de estresse vegetal (Raviv et al., 1993). De acordo com Caron et al. (2005a), a efetividade da ascensão de água em substratos é inversamente proporcional ao estresse hídrico vegetal, tornando a informação dessa propriedade hídrica essencial para o desenvolvimento da irrigação por capilaridade. Neste sentido, substratos com prevalência de partículas finas e, conseqüentes, teor de água disponível e ascensão capilar adequados favoreceriam a hidratação vegetal. Contrariamente, substratos com texturas mais

grosseiras não favoreceriam tal processo, o que é confirmado por Bunt (1983), que observou que substratos com partículas grosseiras acima de 25% da sua constituição apresentam reduzida fração de água facilmente disponível. Este autor também observou que a maior composição de partículas de areia altera a forma da curva característica de retenção de água do substrato, desfavorecendo o processo de armazenamento de água. Segundo de Kreij e Straver (1988), maior aeração no substrato podem ser desejável quando é empregado manejo hídrico com freqüente aplicação de água por capilaridade, acarretando maior produção devido a melhor aeração. De acordo com Patel et al. (2000), a concentração de sais em meio de crescimento de raízes, como substratos, é dependente do posicionamento da frente de saturação e do tempo de sua atuação no sistema solo-plantas. Estes autores afirmam que a presença mais elevada da posição da frente de saturação, ou menores níveis de tensão, determinaria a diluição dos sais neste meio, reduzindo as suas concentrações. Portanto, o conhecimento dos níveis de energia pela qual a água é retida na frente de molhamento proveniente da presença de uma superfície de água é um parâmetro importante e essencial para condução do manejo hídrico nas plantas cultivadas sob irrigação por capilaridade. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo estudar a variação do potencial matricial dos substratos de fibra de coco e de pinus durante o processo de elevação de água por capilaridade e definir a altura de ascensão da água nos tubetes.

### **Material e Métodos**

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Solos e no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, no período de 12/2005 a 10/2006. Foram utilizados dois substratos com dois padrões de granulometria: substrato de fibra de coco com predominância de partículas finas (CF) e grosseiras (CC), e substrato de pinus com predominância de partículas finas (PF) e grosseiras (PC). A composição granular de cada substrato é demonstrada na Tabela 1. Empregou-se a marca de substrato de pinus Mecplant® sob os padrões G12 (grosso) e F24 (fino) e Amafybra® substrato fino de fibra de coco, Golden Mix® granulado e substrato grosso de fibra de coco Golden Mix® fibroso. Os substratos foram acondicionados em colunas experimentais de PVC com a umidade recomendada pelo fabricante, que era de  $0,29 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para substrato fino de pinus,  $0,28 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para o substrato grosso de pinus,  $0,27 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para o substrato fino de coco e  $0,07 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  para o substrato grosso de coco.

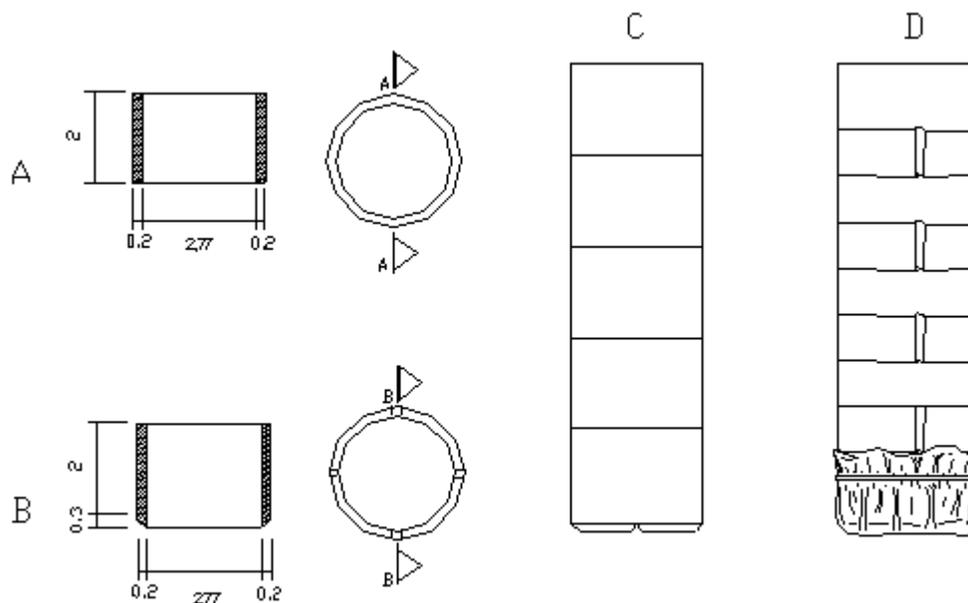
**Tabela 1. Distribuição percentual do tamanho de partículas para os substratos fino de casca de pinus (PF), grosseiro de casca de pinus (PG), fino de fibra de coco com componentes granulares (CF – G) e fibrosos (CF – F) e grosseiro de fibra de coco de componentes granulares (CG – G) e fibrosos (CG – F).**

Substrato	-----Peneira-----						
	<0,25	0,25	0,5	1	2	4,7	6,3
PF	14,79	14,4	30,2	23,7	16,68	0,14	0,09
PG	11,68	10,86	22,44	19,54	31,76	2,58	1,15
CF - G	11,68	19,1	37,61	24,3	5,43	0,31	0,72
CF - F	0	0,03	0,31	0,77	0	0	0
CG - G	6,73	9,32	15,82	11,63	0	0	0
CG - F	2,69	3,11	8,24	4,41	5,61	0	32,46

A técnica adotada para esse trabalho derivou-se da metodologia desenvolvida por Goebel et al. (2004) na determinação da ascensão capilar de água em solos. A principal adaptação foi a utilização de cilindros construídos a partir de tubos de PVC DN 25, com 10 cm de altura útil segmentados em anéis de 2 cm. Por meio de uma fita adesiva de PVC, os 5 anéis cilíndricos com 2 centímetros de altura foram conectados, sendo que o anel da base possuía 3 mm a mais que os demais, para permitir o contato com a água na formação de zona de saturação (Figura 1). Na parte inferior deste anel fixou-se um tecido utilizando um elástico para evitar a perda de substrato. A capacidade útil de toda a coluna era de 60,25 cm<sup>3</sup>, com 12,05 cm<sup>3</sup> para cada anel, inclusive para o primeiro, pois o volume adicional de 1,8 cm<sup>3</sup> decorrentes da sua maior altura, não foi amostrado.

No preenchimento dos cilindros com substrato foi utilizado o método de impacto proposto por Pire and Pereira (2003) e Yeager (1995), que definiram o grau de compactação utilizando o diâmetro do container. O cilindro impactou-se contra um volume de madeira de 15 x 10 x 30 cm apoiado sobre uma mesa. Esse procedimento foi utilizado para reduzir os erros de manuseio do substrato durante o preenchimento. Dessa forma, foram necessários quatro impactos para o recipiente ficar totalmente cheio.

Os cilindros com os substratos foram colocados em uma bandeja que permitia a saturação das amostras pela manutenção de uma lâmina constante com 3 mm de água, formando uma zona de saturação interna no cilindro na região de contato com a água.



**Figura 1: Esquema de um anel intermediário (A), do primeiro anel com 3 mm de altura a mais e fundo em bisel (B), cilindros empilhados (C) e a montagem de cilindros (D).**

A ascensão de água por capilaridade ao longo do tempo no cilindro foi determinada para os seguintes tempos de saturação: 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8, 16 e 24 horas. Foram utilizadas 10 repetições por substrato, com os tratamentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado. As determinações de umidade de cada amostra segmentada de substrato foram realizadas gravimetricamente, base em massa seca a 65°C por 24 horas, para cada um dos tempos de saturação avaliados. Os valores da umidade, base massa seca, foram multiplicados pelo valor da densidade média dos anéis para se obter o valor da umidade volumétrica dos substratos. Com os valores de umidade volumétrica de cada anel foram estimados os valores do potencial matricial utilizando da equação ajustada de van Genuchten (1980).

Para a determinação da curva de retenção de água característica dos substratos avaliados empregaram-se anéis de aço inoxidável dispostos em mesa de tensão, empregando-se 3 repetições por substrato. Os substratos foram acondicionados em anéis de 10 cm de altura por 20 cm de diâmetro, com o fundo tampado por um tecido poroso. As massas específicas utilizadas para o preenchimento das colunas e dos anéis de aço inoxidável foram de 0,18 g.cm<sup>-3</sup> para os substratos de casca de pinus fino e grosseiro, e de 0,07 g.cm<sup>-3</sup> para o substrato fino de fibra de coco, e 0,06 g.cm<sup>-3</sup> para o substrato grosseiro de fibra de coco. Estes valores de

densidades são aproximados daqueles utilizados em substratos empregados para a produção comercial e foram obtidos durante o preenchimento dos cilindros e dos anéis pela compactação com 4 golpes. A curva de retenção foi determinada no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, utilizando-se uma mesa de tensão onde foram aplicadas as tensões de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm de coluna de água (cm.c.a), os valores de 70 até 100 cm.c.a. foram extrapolados pela equação de van Genuchten (1980).

Os valores da curva de retenção foram ajustados de acordo com van Genuchten (1980), conforme se observa na equação 1:

$$\theta(\%) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \times \Psi_m)^n]^m} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

sendo:

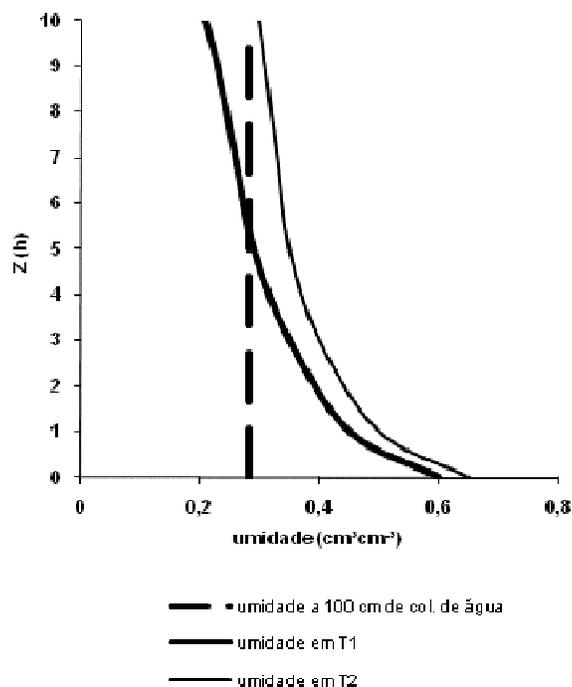
m, n e  $\alpha$  = parâmetros de ajuste da curva

$\theta_r$ : Umidade residual (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)

$\theta_s$ : Umidade saturada (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)

Com os valores de umidade na coluna demonstrada na Figura 1-C, em que cada anel possui posição conhecida, correspondeu-se os valores de umidade de cada anel com seus respectivos valores de tensão, e assim, interpolou-se os valores de 0, 10, 50 e 100 cm.c.a na coluna de anéis segmentados. Estas posições representam os limites para saturação de água, espaço de aeração, água facilmente disponível e água tamponante (De Boodt et al., 1974). Os 8 pontos obtidos para cada tensão de água na relação altura x tempo foram ajustados por meio de regressão não-linear calculada pelo programa Origin 8.1, indicando-se a posição de cada nível de energia ao longo do tempo na coluna.

A água disponível para a coluna de substrato foi calculada com base no cômputo do volume de água excedente, retido a tensões abaixo de 100 cm.c.a. para cada anel da coluna de substrato, conforme se ilustra na Figura 2. A soma do volume de água de cada anel foi dividido pelo volume da coluna, 60,25 cm<sup>3</sup>, obtendo, assim, o valor em  $\Theta$ .



**Figura 2.** Exemplo de relação entre o ponto de água disponível do substrato, 100 cm de coluna de água, e a umidade contida na coluna em um tempo determinado, T1 e T2.

### Resultados e Discussão

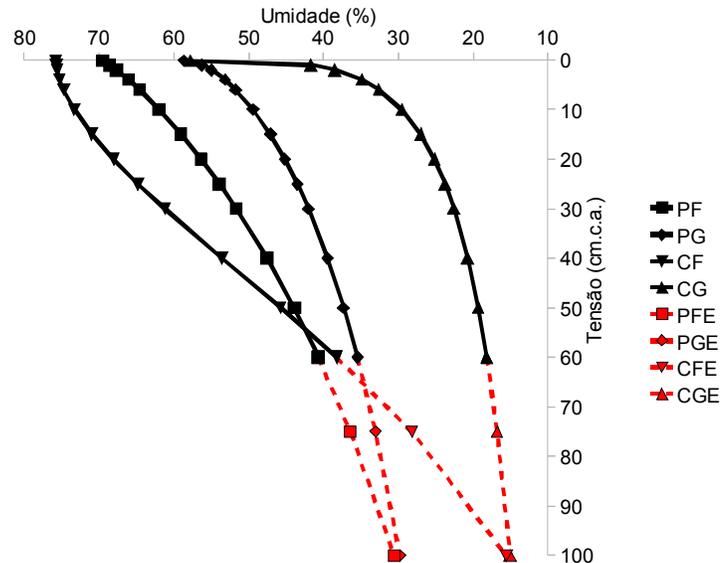
Curvas características de retenção de água dos substratos.

Para as quatro condições de substratos avaliadas, a Tabela 2 apresenta os valores dos coeficientes de ajuste da curva de retenção de acordo com van Genuchten (1980).

**Tabela 2:** Coeficientes de ajuste da curva de van Genutchen (1980) obtidas por meio de mesa de tensão para os substratos de fibra de coco grosseiro (CG), fibra de coco fino (CF), casca de pinus grosseiro (PG) e casca de pinus fino (PF).

Substrato	Ajuste da curva			Umidade		R <sup>2</sup>
	Alpha	m	n	Sat.	Res.	
CG	0,0001	6,6542	0,3249	0,578	0,000	0,977
CF	0,0027	15,4497	1,7011	0,758	0,000	0,935
PG	0,0004	5,2684	0,6166	0,587	0,000	0,968
PF	0,0004	13,4114	0,8568	0,697	0,000	0,949

A Figura 3 apresenta as curvas características de retenção de água em função do potencial matricial para os substratos ensaiados.



**Figura 3. Curva retenção de umidade ( $\theta\%$ ) do substrato em função do potencial dos substratos fino de fibra de coco (CF), fibra de coco grosso (CG), casca de pinus fino (PF), casca de pinus grosso (PG), pinus fino extrapolado (PFE), pinus grosso extrapolado (PGE), coco fino extrapolado (CFE) e coco grosso extrapolado (CGE).**

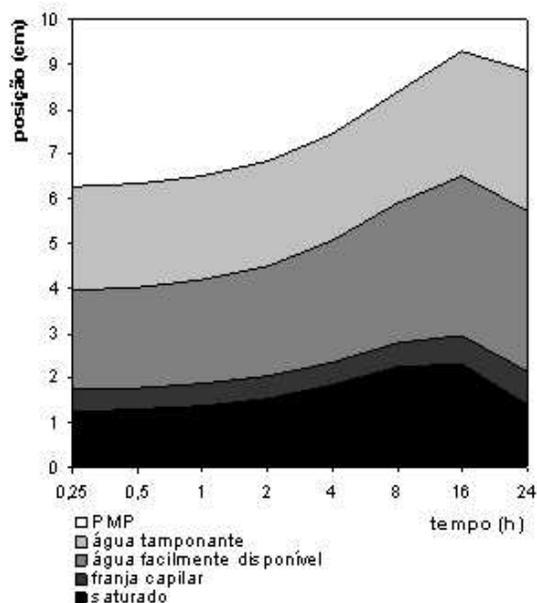
Nessa figura nota-se que o substrato fino de fibra de coco foi aquele que reteve mais umidade por unidade de volume, enquanto que o substrato de fibra de coco grosso apresentou a menor retenção de água. Pela figura também é possível observar que independente do tipo de substrato os que se caracterizavam por ter textura fina apresentaram maior retenção de água quando comparados ao de textura grossa, e em especial sob menores tensões. O material originário do substrato atribuiu a tendência de apresentar um mesmo valor de umidade para o ponto de murcha permanente (100 cm.c.a.), independentemente da textura. Esse efeito, a priori, seria atribuído à porosidade interna das partículas do material que constitui o substrato.

### **Variação do potencial mátrico durante a ascensão capilar**

As linhas de potencial no tempo dos diferentes níveis de retenção de água no substrato fino de casca de pinus podem ser observadas na Figura 4.

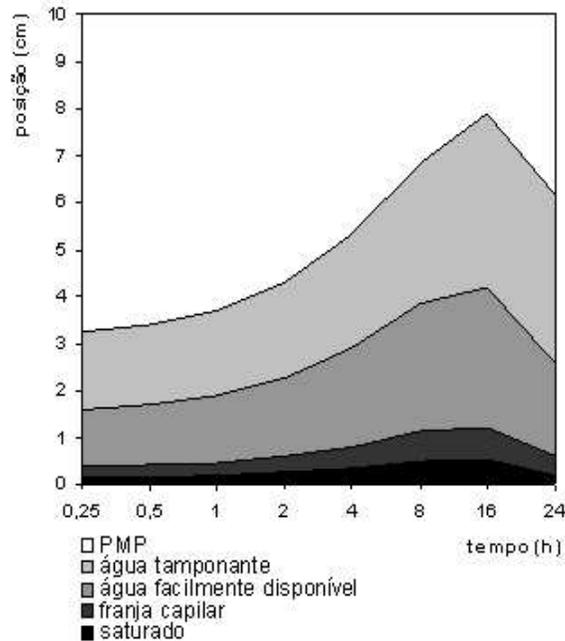
Para o substrato fino de casca de pinus, a frente de molhamento atingiu a altura de 6 cm em 15 minutos de aplicação de água. Esta elevação da umidade permitiria indicar um manejo hídrico com elevação de água à metade de um tubete de 12 cm de altura. Ainda em 15 minutos, a água facilmente disponível encontrava-se entre 2 e 4 cm de altura em relação à

superfície de saturação.



**Figura 4. Variação do potencial matricial do substrato fino de casca de pinus ao longo de 24 horas na coluna de 10 cm de altura.**

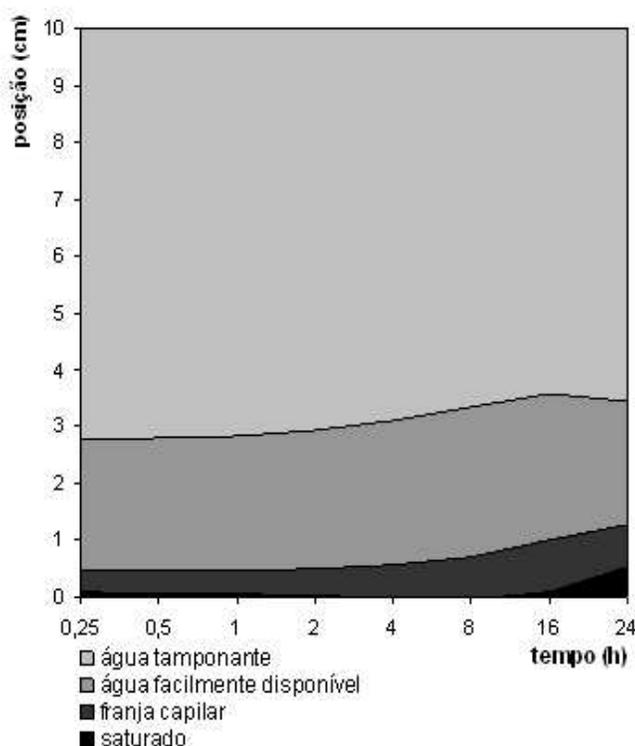
Abaixo de 1,5 cm de altura em relação ao lençol de água foram encontradas zonas de saturação e a franja capilar no substrato. Estas regiões caracterizam-se por terem toda a microporosidade ocupada por água. Embora essa condição represente o máximo molhamento, estas camadas apresentam um conteúdo de água excessivo, não benéfico às plantas devido à menor aeração. Este comportamento pode ser decorrente do maior contato entre partículas deste substrato fino, que apresenta uma estrutura matricial que favorece a formação de microporos e maior continuidade ao contato entre partículas. Provavelmente decorrente deste processo, a franja capilar elevou-se acima de 1,5 cm do lençol de água após 1 hora de irrigação. Ao final das 24 horas de saturação, observou-se que a franja capilar saturada permaneceu na camada de 2 cm iniciais. Por outro lado, a água disponível atingiu aproximadamente 9 cm de altura, enquanto a água facilmente disponível atingiu 5,5 cm. O processo de elevação de água apresentado por esse substrato, é favorável à não-concentração excessiva de sais no perfil do substrato, assim como Patel (2000) constatou em solos. Na Figura 5 observa-se o comportamento das linhas do potencial da água ao longo do tempo para o substrato grosseiro de casca de pinus.



**Figura 5. Variação do potencial matricial do substrato grosseiro de casca de pinus ao longo de 24 horas na coluna de 10 cm de altura.**

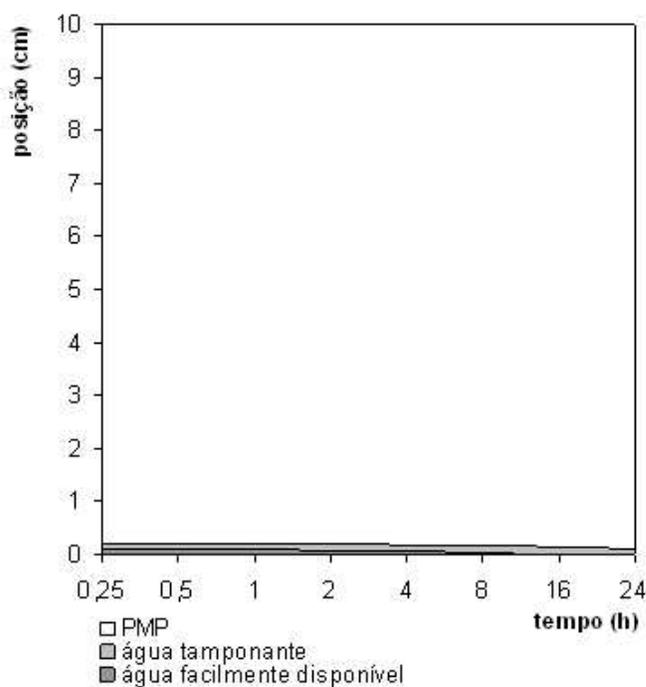
O substrato grosseiro de casca de pinus não apresentou elevação da água disponível dentro do cilindro nos primeiros 15 minutos de irrigação, causada provavelmente pelas suas características físicas. Para esse tempo de saturação, o conteúdo de água utilizável pelas plantas manteve-se até por volta de 2 cm de altura em relação ao nível de saturação. O comportamento verificado para esse substrato recomenda que, para promover molhamento de todo o meio de crescimento radicular, torna-se necessário que o nível de saturação esteja localizado até 2 cm abaixo da superfície do recipiente que o armazena. Não se observou relevante presença de franja capilar, pois essa camada de umidade sob esse nível de tensão se elevou a partir de 30 minutos, porém durante as 24 horas de avaliação não ultrapassou 0,5 cm acima do lençol de água. Essa pouca elevação da franja capilar está relacionada à textura do meio, que atribuiu menor superfície de contato com a água do recipiente, reduzindo conseqüentemente, a condução da água no meio. Este comportamento também pode ser observado na camada de umidade retida sob tensão da franja capilar, que não ultrapassou 1 cm de altura na coluna em 24 horas. A elevação da camada de água facilmente disponível é mais lenta no substrato de textura grosseira. A água facilmente disponível levou 8 horas para atingir 3,5 cm de altura, quando encontrou atuação da dissecação da atmosfera nas camadas superiores. Semelhantemente, a camada de umidade sob o nível de energia de água

tamponante atingiu 7 cm de altura após 18 horas de atuação do lençol de água. O substrato fino permitiu que a água tamponante atingisse 7 cm entre 1 e 2 horas de atuação do lençol de água. Comparado aos outros substratos, o substrato grosseiro de casca de pinus obteve menor elevação de água por capilaridade a partir da base da coluna, com menores extratos de água facilmente disponível, discordando de Caron et al. (2005b), que afirma que a distribuição de tamanho de partículas de substratos não interferem na água facilmente disponível. Por conta desta propriedade granulométrica, o substrato grosseiro exigiria irrigações mais freqüentes, de acordo com de Kreij e Straver, (1988). Para estes substratos, há maior tendência ao ressecamento das camadas superficiais, o que traria condições menos favoráveis ao desenvolvimento de patógenos. Por outro lado, maiores freqüências de irrigação proporcionariam mais lavagens de fertilizantes do meio de cultivo. A lixiviação de insumos químicos pode ser indesejável, se empregados fertilizantes de liberação lenta. O comportamento das linhas de potencial da água ao longo do tempo para o substrato fino de fibra de coco está apresentado na Figura 6.



**Figura 6. Variação do potencial matricial do substrato fino de fibra de coco ao longo de 24 horas na coluna de 10 cm de altura.**

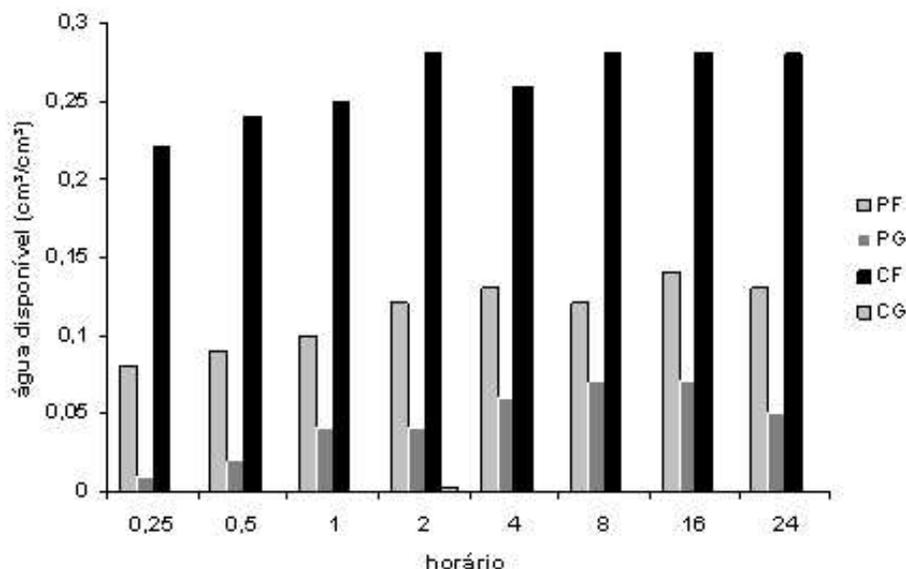
O substrato fino de fibra de coco apresentou ótima distribuição de água, sem a apresentação de camadas ou extratos com umidade abaixo do ponto de murcha permanente. Não houve elevação da franja capilar no meio de crescimento de raízes, e, o extrato de franja capilar manteve-se abaixo de 1 cm de altura. Desta forma, ampliou-se o volume do cilindro com umidade dentro da faixa de disponibilidade às plantas, trazendo-o praticamente para todo o meio. Embora nesta característica esteja patente sua vantagem, a camada com água facilmente disponível ascendeu apenas de 2,5 a 3,0 cm de altura. Comparativamente, ao substrato fino de casca de pinus, o substrato de fibra de coco proporcionou molhamento da camada com umidade disponível total no meio. Essa eficiência na distribuição de água disponível em todo meio pode também trazer condições favoráveis na superfície à formação de umidade mais adequada ao desenvolvimento de patógenos. Conforme relatado acima, a maior disponibilidade de água pode estar presente na maior microporosidade interna das partículas, o que provavelmente já ocorrera antes dos processos de elevação de água por capilaridade. Fundamentado nas considerações de Patel et al. (2000) para solos, é possível assumir que o substrato fino de fibra de coco teria menores chances de acúmulo de sais na superfície.



**Figura 7. Potencial matricial do substrato fino de fibra de coco ao longo de 24 horas na coluna de 10 cm de altura.**

Na Figura 7 é possível se observar o comportamento das linhas de potencial de água no substrato grosseiro de fibra de coco, onde se tem a ausência completa de elevação dessas ao longo do tempo.

Na Figura 8 é possível observar a média de água disponível armazenada (base volume) na coluna de substrato ao longo do período estudado.



**Figura 8. Média de umidade ( $\theta$ ) disponível armazenada nas colunas de substrato de casca de pinus textura fina, casca de pinus textura grossa, fibra de coco textura fina e fibra de coco textura grossa entre 15 minutos e 24 horas.**

O substrato fino de fibra de coco foi aquele que melhor apresentou adsorção de água disponível às plantas. Este comportamento é coerente com a maior eficiência em adsorção de água por peso do substrato de fibra de coco. Comparativamente ao substrato fino de casca de pinus, esse atributo seria possibilitado pelas menores densidades do substrato e de suas partículas. A maior capacidade de retenção do substrato de fibra de coco, juntamente com menores valores de densidades de partícula e global indicaria que a microporosidade de dentro das partículas seria a característica reinante para o maior conteúdo de água disponível. Por outro lado, a menor capacidade de aumento da adsorção de água ao longo do tempo, revelaria uma condição menos favorável ao transporte de água, devido ao menor contato entre partículas. Essa pode ser a principal causa dos menores volumes de água adsorvidos nesse substrato. A forma de retenção de água por contato entre partículas possibilitaria maiores

conduções de água no meio, fato observado no ganho de água em 69,%, entre 15 minutos e 24 horas, valor maior que o observado no substrato de fibra de coco, que apresentou 30%. O substrato grosseiro de casca de pinus registrou fraca continuidade na adsorção de água, em valores absolutos. Os valores de retenção de água disponível não são concordantes ao que foi observado por Caron et al. (2005b), que apontaram valores entre 0,2 e 0,3 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> de água facilmente disponível armazenada. Esta diferença pode ser decorrente da natureza diferente dos substratos, das práticas de irrigação, da densidade de preenchimento e dos procedimentos para sua realização. Soma-se ao fato de que não há ascensão de água até camadas superficiais do recipiente.

### Considerações finais

A relação do nível de energia de retenção com a umidade é dependente não apenas da granulometria, mas da natureza das partículas segundo sua porosidade interna, pois essa natureza reflete na habilidade de condução da água por meio pelo processo de adesão, com conseqüências na elevação dos extratos da água facilmente disponível. A textura grosseira não favorece a elevação de extratos de água facilmente disponível.

Visando orientar a utilização dos substratos avaliados na irrigação por capilaridade e, assim, obter rápido molhamento com extratos umedecidos sob o nível de tensão de 100 cm.c.a. apresenta-se na Tabela 3 as recomendações os seguintes procedimentos:

**Tabela 3: Recomendações de elevação do nível de saturação a partir da base do tubete e do tempo de saturação para utilização dos substratos avaliados**

Tipo de substrato	Textura	Posição do nível de saturação no recipiente	Tempo de saturação (min)
Pinus	Fina	Até 6 cm	15
	Grosseira	Até 9 cm	15
Coco	Fina	Até 5 cm	15
	Grosseira	Não se recomenda	Não se recomenda

Salienta-se que, em caso de ocorrer secamento excessivo da região superior do recipiente, pode-se adotar novos valores para o posicionamento do nível de saturação: substrato fino de casca de pinus: até 8 cm de altura do tubete; substrato grosseiro de casca de

pinus: até 10 cm de altura do tubete; e o substrato fino de fibra de coco: até 9 cm de altura do tubete.

### **Conclusões**

Baseado nos resultados obtidos nesse trabalho, concluiu-se que ambos os substratos com textura fina apresentam-se adequados para serem utilizados na irrigação por capilaridade, sendo que o substrato de fibra de coco, por apresentar maior quantidade de água disponível, mostrou-se o mais recomendado. Adicionalmente, a utilização de substratos com textura grosseira se apresenta limitada para elevação de água por capilaridade devido a baixa capacidade de atingir valores adequados de água disponível.

### **Agradecimentos**

Ao CNPq pelo custeio da pesquisa, às empresas Mec Plant e Amafibra, pela doação de substratos e ao Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola, pela realização da curva de tensão dos substratos avaliados.

### **Referências Bibliográficas**

Bunt, A.C.. Physical properties of mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. **Acta Horticulturae**, v.150, p.143-153, 1983.

Caron, J. and Elrick, D. Measuring the unsaturated hydraulic conductivity of growing media with a tension disc. **Soil Science Society American Journal**, v.69, p.783-793, 2005.

Caron, J.; Elrick, D.E.; Beeson, R.; Boudreau, J. Defining critical capillary rise properties for growing media in nurseries. **Soil Science Society American Journal**, v.69, p.794 – 806, 2005a.

Caron, J.; Rivière, L-M., Guillemain, G. Gas diffusion and air filled porosity: Effect of some oversize fragments in growing media. **Canadian Journal of Soil Science**, v.85, p.57-65, 2005b .

De Boodt, M.; Verdonck O. and Cappaert I. Method for measuring the water release curve of organic substrates. **Acta Horticulturae**, v.37, 1974.

De Kreij, C. and Straver, N. Flooded-bench irrigation: effect of irrigation frequency and type of potting on growth of codiaeum and on nutrient accumulation in the soil. **Acta Horticulturae**, v.221, p.245 – 252, .1988.

Goebel, M.-O., Bachmann, J., Woche, S.K., Fisher, W.R., Horton, R. Water Potential and Aggregate Size Effects on Contact Angle and surface Energy. **Soil Science Society American**

**Journal**, Madison, v.68, n.2, p. 383 – 393, March – April, 2004.

Landis, D.L. Irrigation and water management. In: Landis, T.D. Tinus, R.W., McDonald, S.E., Barnett. J.P. **The container tree nursery manual**, v.4, Agricultural Handbook, 674. Washington, DC U.S. Department of agriculture, Forest Service, 1989.p.69-188.

Naasz, R.; Michel, J-C and Charpentier, S.. Measuring hysteretic hydraulic properties of peat and pine bark using a transient method. **Soil Science American Journal**, v.69, p.13-22, 2005.

Patel, R.M.; Prasher, S.O.; Bonnel, R.B. Effect of water table depth, irrigation water salinity, and fertilizer application on root zone salt buildup. **Canadian Agricultural Engineering**, v.42, n.3, p.111-115, July – September, 2000.

Pire, R. and Pereira, A. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela: Propuesta Metodológica. **Bioagro**. v.15, p. 55- 63, 2003 .

Raviv, M.; Medina, S.; Ben Ner, Z. and Shamir, Y. Very low medium moisture tension – A feasible criterion for irrigation control of container-grown plants. **Acta Horticulturae**, v.342, p.111-119, 1993.

van Genuchten, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**. v.44, p.892-898, 1980.

Verdonck, O., Penninck, R. and De Boodt, M. The physical properties of different horticultural substrates. **Acta Horticulturae**, v.150, p.155 – 160, 1983.

Yeager, T.H. 1995. Container Substrate Physical Properties. **The Woody Ornamentalist**, Environmental Horticulture Department, University of Florida, v.20, n.1, 1995.

## **PUBLICAÇÃO 4**

*“Efeitos da irrigação por capilaridade no desenvolvimento de porta-enxertos de limoeiro cravo (Citrus limonia Osbeck)”*

Submetido à revista PAB em 13/08/2010.

## **Efeitos da irrigação por capilaridade no desenvolvimento de porta-enxertos de limoeiro cravo (*Citrus limonia Osbeck*)**

### **Resumo**

O método de irrigação por capilaridade possui potencial para viabilizar o aumento da produção vegetal, reduzir o desperdício de água e aumentar a eficiência de irrigação em ambientes protegidos. Com o objetivo de otimizar o desenvolvimento das plântulas de citros, foi avaliado, no presente trabalho, o desenvolvimento de cavalinhos de limoeiro cravo em substrato fino de casca de pinus sob diferentes níveis de irrigação por capilaridade. Foram aplicados três tratamentos dispostos em blocos ao acaso: manutenção do nível da água durante a irrigação a 8 cm da base do tubete (T1), nível de água a 4 cm de altura (T2), e aplicação de água manualmente por aspersão (T3). Foi determinado o teor de matéria seca particionada em raiz, caule e folhas, bem como, foram medidos o diâmetro e altura de caule, área foliar e comprimento de raizame. Os resultados demonstraram a vantagem progressiva de T1, com o crescimento das plântulas, sobre os demais tratamentos, evidenciada pela maior produção de matéria seca na raiz, caule e folhas. A aplicação de água por capilaridade reduziu o ciclo de produção, recomendando o tratamento T1 como manejo hídrico mais adequado.

**Palavras-chave:** Subirrigação, mudas, propagação, viveiros.

### **Effects of capillary irrigation on citrus rootstock (*Citrus limonia Osbeck*) development**

**Abstract:** The method of irrigation by capillary rise has the potential to enable the increasing of crop production, to reduce water loss and to increase irrigation efficiency in greenhouses. Aiming to optimize the development of citrus root stocks, the present work evaluated the growth of *Citrus limonia Osbeck* root stocks under different levels of irrigation by capillarity. It were applied three treatments in a randomized block design: holding the water level during the irrigation at 8 cm from the base of the recipient (T1), water level at 4 cm (T2), and sprinkler manual application (T3 ). The accumulation of dry matter partitioned into root, stem and leaves was determined, as well, the diameter and height of stem, leaf area and length of rooting. The results demonstrated the progressive advantage of T1 with the growth of the root stocks, over the others treatments, evidenced by higher production of dry matter in roots, shoots and leaves. The application of water by capillary reduced the production cycle,

recommending treatment T1 as more appropriate as water management method.

**Key words:** Subirrigation, root stocks, citrus crop, nurseries.

### **Introdução**

O manejo de irrigação em 92% dos viveiros paulistas é realizado por aspersão manual (Almeida, 2003, Salvador et al., 2008), determinando o uso de uma lâmina superestimada para equilíbrio iônico do substrato (Milner, 2002) e, muitas vezes, sob maior frequência de irrigação para promover maior umidade no meio (Francescato, 1995). Esses sistemas de irrigação promovem perdas excessivas de água com sais para o meio ambiente quando utilizados em plantas cultivadas em tubetes (Soares, 2003 e Gervásio, 2003). Como alternativa a esse método de irrigação impactante, os sistemas de irrigação por capilaridade tem característica de promover percolação zero (Uva et al., 2001) e maiores níveis de água armazenada no substrato (Geneve et al., 2004). A solução percolada e o meio de crescimento das plantas irrigadas por capilaridade adquirem maior condutividade elétrica (Dole et al., 1994), concentrando sais na superfície do substrato (Richards & Reed, 2004; Haley and Reed, 2004) e proporcionando economia de até 100% superiores aos demais métodos de irrigação (Haley and Reed, 2004). Em decorrência destas características, a utilização desse método de irrigação tem o potencial de dispersar menos contaminantes químicos no meio ambiente (Million et al., 1999) e segundo Verdial et al. (1998), maximiza a produção de mudas de pimentão e promove maior crescimento em mudas de coníferas com maior altura e diâmetro de caule, assim como menor contagem de descartes (Landis et al., 2005). Segundo Augusto (2007), o uso da capilaridade promoveu um maior desenvolvimento do sistema radicular em mudas de *Eucalyptus grandis*, e de acordo com Teixeira et al. (2009) as mudas de citros apresentaram bom desenvolvimento. Embora o emprego do método de subirrigação apresente vantagens sobre os métodos tradicionais, seu uso inadequado determina a ocorrência de problemas de alteração na proporção raiz/parte aérea em mudas de citros, quando em saturação prolongada (Hartmond et al., 1987). Esse efeito em mudas de cerejeira também resultou em menor área específica de raízes, afetando o desenvolvimento do dossel das plantas (Ranney et al., 1991). Problemas similares não podem ocorrer na produção de propágulos cítricos, pois o bom desenvolvimento radicular mantém bom equilíbrio raiz/parte aérea, assim, evitando o declínio dos citros (Baldassari et al., 2003). Embora haja um espectro de vantagens

a ser explorado no uso da capilaridade, níveis de umidade excessivos podem retardar o desenvolvimento de mudas de citros, inviabilizando o método para a cultura. Neste enfoque, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desenvolvimento físico de porta-enxertos de limoeiro cravo cultivados em substratos para diferentes posições do nível de saturação dentro de tubetes.

### **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação telada no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, localizada a 22°48'57"S e 47°03'33"O. Os ensaios foram realizados de 24/11/2009 a 23/01/2010. Plântulas de limoeiro cravo foram acondicionadas em tubetes comerciais preenchidos com substrato fino de casca de pinus e que tinham as seguintes dimensões: 12,5 cm de altura por 2,8 cm em seu maior diâmetro, resultando em um volume útil de 50 cm<sup>3</sup>. Os tubetes com as plântulas foram posicionados em bandejas desenvolvidas para aplicação de água por capilaridade, que possuíam cada uma 54 células. Os tratamentos consistiam em irrigar, com água de abastecimento urbano, as plântulas dispostas nessas bandejas para aplicações com diferentes alturas da lâmina d'água no interior do tubete, permitindo que por capilaridade diferentes volumes do substrato sejam umedecidos. Foram utilizadas duas alturas de saturação: até 2/3 da altura do tubete (T1) ou seja, com a elevação de água a 8 cm de sua base, e até 1/3 da altura dos tubetes (T2), ou seja, com elevação de água a 4 cm de sua base. Em ambos os tratamentos foi utilizado um tempo de 15 minutos de permanência do nível de água nessas alturas. Esses tratamentos foram comparados com os resultados obtidos pela irrigação tradicional realizada por meio de chuveiros (T3) com volume de água aplicado que foi suficiente para promover sua percolação no tubete. A disposição dos tratamentos na bandeja é apresentada na Figura 1.

Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso, com 5 repetições, ou seja, foram utilizadas 15 bandejas consideradas como parcelas experimentais com 54 plantas. Os tratamentos foram iniciados para porta-enxertos com 30 dias após semeadura (DAS), e foram cultivadas até o último tratamento atingir altura média de 18 cm ou quando as plantas completarem 90 DAS, fase limite para transplântio em sacolas de 5 litros pelos produtores (Boaventura et al., 2004). As plantas foram irrigadas diariamente às 8:00 horas da manhã e fertirrigadas a cada três dias até a fase de 60 DAS e a cada dois dias após 60 DAS.



**Figura 1. Bandejas de irrigação por capilaridade (à esquerda), empregadas na condução de T1 e T2 e disposição das plantas em bancada irrigada por aspersão (T3).**

Foram avaliadas as seguintes variáveis relacionadas ao crescimento: acúmulo de matéria seca particionada em raiz, caule e folhas, bem como foram medidos o diâmetro e altura de caule, área foliar e comprimento da raiz mais longa após a retirada do substrato. As avaliações físicas nos porta-enxertos foram realizadas nos dias 01/12/2009 (36 DAS), 19/12/2009 (55 DAS), 08/01/2010 (75 DAS) e 23/01/2010 (90 DAS). Foram amostradas 3 plantas por parcela em cada dia de amostragem, sendo essas amostras repostas por plantas marcadas e cultivadas ao lado do bloco em parcelas de plantas para substituição. A determinação da matéria seca acumulada foi realizada dividindo-se a planta em raiz, caule e folhas, seguido da lavagem e secagem de raízes para posterior pesagem de matéria fresca de cada parte separada. Empregou-se uma balança de precisão de 0,001g modelo MARTE AL 500. Por se tratar de uma planta de germinação hipógea, a divisão entre caule e raiz foi dada na inserção cotiledonar das plantas. Após as pesagens, foram efetuadas as medições de comprimento e diâmetro de caule a 3 cm de altura, comprimento do raizame, sendo efetuadas contagens de plantas cujo caule apresentou bifurcação no seu desenvolvimento. A medição da área foliar das plântulas foi realizada por um integrador de área foliar Li-cor LI-3100. Após todas as medições realizadas com matéria fresca, foi procedida a secagem por 48 horas a 65°C em estufa e posterior pesagem para determinação da matéria seca. Foi efetuado o cálculo de relação dossel/raiz. Analisaram-se os dados obtidos por comparações de médias aplicando-se o teste de Tukey empregando-se o programa estatístico R, sendo as regressões lineares ajustadas pelo programa de análise de dados Origin 8.1.

## Resultados

Na Tabela 1 são apresentados os valores de matéria seca de folhas, caule e raiz de plantas dos porta-enxertos limoeiro cravo, nos quais se notam o maior ganho de matéria seca nas plantas irrigadas por capilaridade.

**Tabela 1. Valores médios de massa de matéria seca (g) das folhas, caule, raiz e planta inteira aos 36, 55, 75 e 90 DAS com identificação de diferença significativa ao nível de 95% de significância pelo método de Tukey para cada fase estudada.**

Tratamento/parte	Folha	Caule	Raiz	Planta inteira
		36 DAS		
T1	<b>0,185 a</b>	<b>0,0862 a</b>	<b>0,111 ab</b>	<b>0,382 a</b>
T2	<b>0,183 a</b>	<b>0,0770 b</b>	<b>0,106 b</b>	<b>0,365 a</b>
T3	<b>0,188 a</b>	<b>0,0860 a</b>	<b>0,118 a</b>	<b>0,393 a</b>
		55 DAS		
T1	<b>0,460a</b>	<b>0,184a</b>	<b>0,180a</b>	<b>0,814a</b>
T2	<b>0,396ab</b>	<b>0,165a</b>	<b>0,162b</b>	<b>0,723b</b>
T3	<b>0,356b</b>	<b>0,163a</b>	<b>0,179ab</b>	<b>0,698b</b>
		75 DAS		
T1	<b>0,858a</b>	<b>*<sup>1</sup> 0,389a</b>	<b>0,335a</b>	<b>1,58a</b>
T2	<b>0,656b</b>	<b>*<sup>1</sup> 0,324b</b>	<b>0,293b</b>	<b>1,27ab</b>
T3	<b>0,530c</b>	<b>*<sup>1</sup> 0,288c</b>	<b>0,294b</b>	<b>1,11b</b>
		90 DAS		
T1	<b>2,146a</b>	<b>0,681a</b>	<b>0,454a</b>	<b>3,28a</b>
T2	<b>1,666ab</b>	<b>0,533b</b>	<b>0,395b</b>	<b>2,60ab</b>
T3	<b>1,175b</b>	<b>0,436c</b>	<b>0,388c</b>	<b>2,00b</b>

\*<sup>1</sup>- Diferença entre blocos a 5% de significância, maiores valores para os blocos 3 e 5.

As plântulas de citros sob capilaridade ao nível de 2/3 da altura do tubete apresentaram o maior desenvolvimento vegetativo, constatado em nível significativo a partir de 55 dias de tratamento, conforme se observa na Tabela 1 e na Figura 2.

O desenvolvimento vegetativo deu-se em todas as partes vegetais avaliadas, com maior acúmulo de matéria seca nas plantas sob T1. Observando as partes da planta separadamente, constata-se que o enfolhamento das plantas sob T1 foi 83% maior do que o constatado em T3 ao final do ciclo.



**Figura 2. Porta-enxertos cultivados sob T1 (esquerda), T2 (centro) e T3 (direita).**

O ganho de massa proveniente do enfolhamento foi o maior responsável pelo maior peso das plantas de T1 em relação aos demais tratamentos. As plantas de limoeiro cravo cultivadas sob T1 obtiveram ganho de massa 64% maior do que em T3, e, 26% maior do que as plantas cultivadas sob T2. Pode-se afirmar que o desenvolvimento das plantas irrigadas com chuveiro (T3) apresentou os piores resultados, com baixa produção de matéria seca advinda do enfolhamento, que foi a parte vegetal de maior relevância no seu baixo desenvolvimento. Embora os porta-enxertos cultivados sob T2 tenham obtido produção de matéria seca em maiores quantidades do que as plantas sob T3, a diferença entre estes tratamentos não foi significativa no final do ciclo.

Na tabela 2 são apresentados as variações temporal dos valores das diâmetro e comprimento do caule, área foliar, comprimento de raizame e relação dossel/raiz.

Os parâmetros fitométricos empregados indicam prevalência de melhores condições de desenvolvimento para plantas cultivadas sob T1, ou seja com a lâmina de água a 2/3 da altura do tubete. Os porta-enxerto de limoeiro-cravo sob esse tratamento obtiveram maior diâmetro e comprimento de caule, maior área foliar, raizame com maior extensão (crescendo

para fora do tubete) e maior relação parte aérea/ raizame.

**Tabela 2. Valores médios de diâmetro do caule, comprimento do caule, área foliar, comprimento de raizame e relação dossel/raiz aos 36, 55, 70 e 90 DAS com identificação de diferença significativa ao nível de 95% pelo método de Tukey para cada fase estudada.**

Tratamento	Diâmetro de caule (mm)	Comprimento de caule (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Comprimento de raizame (cm)	Dossel/Raiz
36 DAS					
T1	1,948a	9,868a	* <sup>1</sup> 25,680a	10,00a	2,440a
T2	1,766b	9,946a	* <sup>1</sup> 22,834b	10,35a	2,448a
T3	1,608c	10,174a	* <sup>1</sup> 26,430a	10,30a	2,352b
55 DAS					
T1	2,190a	15,107a	56,773a	11,56a	3,568a
T2	2,042b	14,613ab	50,784b	11,10b	3,452b
T3	2,096ab	13,633b	47,787b	10,34c	2,894c
75 DAS					
T1	* <sup>2</sup> 2,634a	22,127a	92,632a	12,60a	3,719a
T2	* <sup>2</sup> 2,532b	19,113ab	67,291b	12,23b	3,379a
T3	* <sup>2</sup> 2,478b	16,580b	62,295b	10,31b	2,786b
90 DAS					
T1	3,014a	29,473a	147,491a	13,76a	6,276a
T2	2,718b	25,500ab	114,024ab	13,82a	5,525b
T3	2,818ab	20,773b	83,071b	10,57b	4,172b

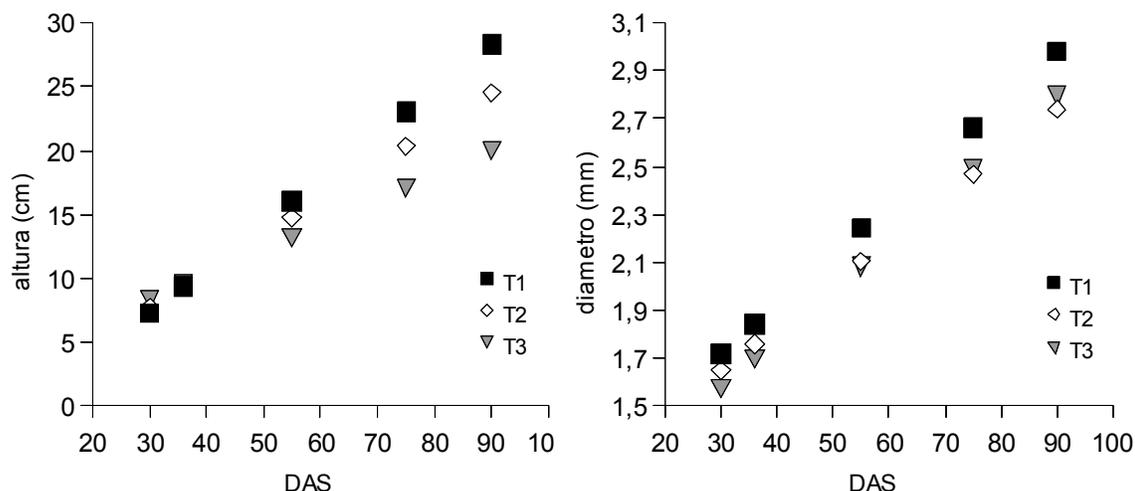
\*<sup>1</sup> - diferença entre blocos a 5% de significância, valores maiores para blocos 3 e 4.

\*<sup>2</sup> - diferença entre blocos a 10% de significância, valores maiores para blocos 3 e 5.

As plantas sob T3 cresceram menos, o que, conseqüentemente, resultou em menores valores de diâmetro e de comprimento de caule, menor área foliar, reduzido comprimento de raízes e baixo desenvolvimento da parte aérea em relação ao raizame. Da mesma forma que na produção de matéria seca, as plantas sob T2 obtiveram maiores dimensões do que as plantas sob T3, no entanto, sem diferença estatística até a metade do ciclo.

Na Figura 3 é representado o desenvolvimento vegetativo das plantas a partir dos valores de altura e diâmetro do caule sob os três tratamentos, e as equações de ajuste do

aumento da altura e do diâmetro do caule das plântulas de limoeiro cravo sob os três tratamentos ao longo do tempo estão contidas na Tabela 3.



**Figura 3. Aumento de altura e de diâmetro de caule em plântulas de limoeiro cravo cultivadas sob os tratamentos T1, T2 e T3 entre 30 e 90 DAS.**

**Tabela 3. Equações lineares de ajuste dos valores de altura do caule (cm) e diâmetro de caule (mm) para plantas de limoeiro cravo em tubetes em função do tempo (dias) entre 30 e 90 DAS sob três tratamentos de irrigação.**

Diâmetro de Caule			Altura da planta	
	Equação	R <sup>2</sup>	Altura	R <sup>2</sup>
T1	$y=(1,08459)+(0,02106*x)$	0,97815	$y=(-3,24201)+(0,35073*x)$	0,98618
T2	$Y=(1,10131)+(0,01822*x)$	0,98671	$y=(-0,67006)+(0,28025*x)$	0,98244
T3	$y=(0,96053)+(0,02039*x)$	0,98048	$y=(2,53557)+(0,19378*x)$	0,98416

Pela Figura 3 é possível observar que as plantas sob o tratamento T1 apresentaram maior precocidade no seu desenvolvimento em estatura e no diâmetro do caule.

De acordo com as equações obtidas, as plantas sob o tratamento T1 atingiram 15 cm aos 52 DAS, 18 cm aos 60 DAS e 20 cm aos 66 DAS. As plantas sob o tratamento T3 obtiveram as mesmas alturas mais tardiamente, respectivamente, aos 64, 79 e 90 DAS. Em condição intermediária, as plantas sob T2 apresentaram tais valores aos 55, 66 e 73 DAS. Comparando-se o ciclo das plantas sob T1 em relação às sob T3, nota-se que as plantas sob T1

adiantaram-se em 12 dias para obter 15 cm de altura, 19 dias para obter 18 cm e 24 dias para obter 20 cm de altura. Comparando-se T2 com T3 nota-se diferença de 9, 13 e 17 dias de adiantamento. Para o parâmetro diâmetro de caule, as plantas sob T1 apresentaram 2 mm de diâmetro aos 43 DAS, 2,5 mm aos 67 DAS e 3,0 mm aos 90 DAS. Da mesma forma que o observado para a altura das plantas, o desenvolvimento destas marcas deu-se com 49, 76 e 104 DAS para T2 e 50, 75 e 100 DAS para T3. As plantas sob T1 apresentam em relação a T2 e T3, respectivamente adiantamento no ganho de espessura de caule para 2,0; 2,5 e 3,0 mm de diâmetro, 6, 9 e 14 dias e 7, 8 e 10 dias.

Os maiores diâmetros e alturas de caule encontradas nas plantas irrigadas por capilaridade, resultados já observados por Landis et al. (2005), com antecipação de ciclo das plantas, principalmente, comparando-se a máxima elevação de água (T1) em relação ao tratamento por aspersão (T3), são fundamentais em viveiros de citros devido à enxertia que será realizada (Bernardi et al., 2000; Almeida, 2003), sendo a altura de 18 cm é a ideal para a fase de transplântio em sacolas (Boaventura et al., 2004). De acordo com Almeida, (2003), a fase de tubetes se estende até a muda atingir uma estatura entre 10 e 15 cm, sendo que as plantas possuem entre 3 e 4 meses de idade. As plantas cultivadas sob o tratamento T1 atingiram 15 cm de altura aos 52 DAS e, com 90 DAS atingiram 29,4 cm, o dobro do porte relatado por Almeida (2003) para toda a fase.

A partir da segunda amostragem (55DAS) constatou-se a presença de bifurcações de caule, com frequência mais pronunciada para T2 e T3. Na segunda amostragem foram contadas 2 bifurcações para T3 e 1 para T2, na terceira amostragem foi contada 1 bifurcação para T3 e na quarta amostragem contou-se 1 para T1, 1 para T2 e 4 para T3. Ao longo de todo o experimento foram 7 plantas bifurcadas sob T3, ao passo que contou-se 2 para T2 e 1 para T1. Estes valores representam bifurcação para 11,6% para T3 amostradas, 3% para as plantas T2 e 1,6% para plantas T1.

### **Discussão dos resultados**

A maior condutividade hidráulica do sistema radicular do limoeiro cravo (Medina et al., 1998) favorece ao maior consumo de água e, conseqüentemente, maior necessidade de água aplicada (Soares, 2003; Machado et al., 1999). Além deste fato, recipientes pequenos, como os tubetes, exigem maior retenção de água no substrato (Fermino, 2002). Por esses

fatores, as plantas de limoeiro cravo que tiveram maior elevação da camada saturada (T1) responderam com maior desenvolvimento vegetativo. Este efeito de irrigação por capilaridade em plântulas de citros também foi relatado por Teixeira (2009). A alteração na proporção entre raízes e parte aérea encontrada no presente trabalho é benéfica pelo motivo de o crescimento ser contínuo e conjugado com abundante enfolhamento. Diferentemente do encontrado por Hartomond et al. (1987) e Espeleta e Eissenstat (1998) na subirrigação contínua de outras espécies de plântulas de citros, a desproporção raiz parte aérea foi acarretada por efeito cumulativo da capilaridade temporária, ao invés de estresse por inundação. Não foi encontrada redução no raizame das plântulas em T1 ou T2, conforme relatam Ranney et al. (1991) para cerejeiras, como sinal de estresse vegetal por saturação excessiva. Notou-se nos tratamento sob capilaridade crescimento contínuo na massa de raízes, que, no entanto, não acompanhou o desenvolvimento na mesma proporção da parte aérea. As raízes sob sistemas de irrigação por capilaridade desenvolveram-se ao ponto de saírem para fora dos tubetes, haja visto o aumento do crescimento no comprimento radicular apreciado na Tabela 2.

A quebra de dominância do meristema apical foi contada de forma mais relevante para o tratamento T3. Os princípios envolvidos no reinício de brotações de gemas, segundo Medina et al. (2003), não são bem conhecidos e muitas vezes são contraditórios, principalmente pelo fato de envolver muitos fatores, tais como fotoperíodo, temperatura do solo e disponibilidade de água. No entanto, cabe ressaltar que as plantas sob T3 apresentaram menor desenvolvimento, e, este fator pode estar relacionado ao sistema de irrigação que proporcionou menor disponibilidade hídrica. Embora seja um efeito secundário constatado no experimento, é importante enfatizar que a menor disponibilidade hídrica acarretou também maior quebra de dominância apical, incidindo assim, nos custos de mão-de-obra para desbrota destas plantas.

### **Conclusões**

O tratamento que manteve a lâmina de saturação a 2/3 da altura total do tubete apresentou os melhores resultados de desenvolvimento do porta-enxerto de limoeiro-cravo, determinando precocidade em decorrência do maior diâmetro de caule na região de enxertia e altura das plantas, que são reflexo do maior ganho de massa das plantas cultivadas sob este tratamento.

### **Agradecimentos**

Ao CNPq, pelo financiamento do projeto, à empresa Citrograf, pela parceria da atividade a campo e ao Instituto Agronômico, em especial à Seção de Ecofisiologia e Biofísica, pelo empréstimo de equipamentos.

### **Referências Bibliográficas**

Almeida, E.L.P. de **Sistema de produção de mudas cítricas em viveiros protegidos do estado de São Paulo**. 68 p. Dissertação (mestrado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

Augusto, D.C.C., Guerrini, I.A., Engel, V.L., Rousseau, G.X. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Maiden. Viçosa, **Revista Árvore**, v.31, n.4, p.745-751, 2007.

Bernardi, A.C. De C., Carmelo, Q.A. de C., de Carvalho, S.A. Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.733-738, outubro/dezembro, 2000.

Boaventura, P.R.R., Quaggio, J.A., Abreu, M.F., Bataglia, O. C. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. v.6, n.2, p.300-305, Agosto, 2004.

Dole, J.M., Cole, J.C. Von Broembsen, S.L. Growth of poisentias, nutrient leaching, and water-use efficiency respond to irrigation methods. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.29, n.8, August, 1994.

Espeleta, J.F. and Eissenstat, D.M. Responses of citrus fine roots to localized soil drying: a comparison of seedlings with adult fruiting trees. **Tree Physiology**, v.18, p.113-119, 1998.

Fermino, M.H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: Encontro Nacional de substratos para plantas, 3, 2002, Campinas (org.) Furlani, A.M.C., Bataglia, O.C., Abreu, M.F., Abreu, C.A., Furlani, P.R., Quaggio, J.A. Minami, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 119 p., p.29-38, 2002.

Francescato, R.D.C. **Influência de frequência de irrigação, substrato e adubo de liberação lenta na produção do porta-enxerto cítrico limão cravo (*Citrus limonia Osbeck*)**. 98f. Dissertação (mestrado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1995.

Geneve, R.L., Kester, S.T., Buxton, J.W. Capillary Mats alter the water content in medium during mist propagation. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.39, n.3, June, 2004.

Gervásio, E.S. **Efeito de lâminas de irrigação e doses de condicionador, associadas a**

**diferentes tamanhos de tubetes, na produção de mudas de cafeeiro.** 105 f. Tese (doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba, 2003.

Haley, T.B. and Reed, D.W. Optimum potassium concentrations in recirculating subirrigation for selected greenhouse crops. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.39, n.6, October, 2004.

Hartmond, U.; Schaesberg, N.V.; Graham, J.H.; Syvertsen, J. P. Salinity and flood stress effect on mycorrhizal and non-mycorrhizal citrus rootstock seedlings. **Plant and Soil**, 104, p. 37-43, 1987.

Landis, T.D. **Water Potential** IN: Forest Nursery Notes: Summer, June, 2005.

Machado, E.C., Medina, C.L., Assis Gomes, M. de M. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em Laranjeira Valência. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.2, p.217-226, 1999.

Medina, C.L., Machado, E.C., Pinto, M.J. Fotossíntese de laranjeira “valência” enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.1, p.1-14, 1998.

Medina, C.L., Rena, A.B., Siqueira, D.L. And Machado, C. Fisiologia dos citros. In: Matos Júnior, de Negri, J.D., Pio, R.M., Pompeu Jr, J. **Citros**, Campinas, Instituto Agrônômico e Fundag, 2003. p.149.

Million, J.B., Barrett, J.E., Nell, T.A., Clark, D.G. Inhibiting growth of flowering crops with ancymidol and paclobutrazol in subirrigation water. **American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.34, n.6, October, 1999.

Milner, L. Manejo de irrigação e fertirrigação em substratos. In: Encontro Nacional de substratos para plantas, 3, 2002, Campinas. (org) Furlani, A.M.C., Bataglia, Abreu, M.F., Abreu, C.A., Furlani, P.R. Quaggio, J.A. Minami, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 119 p., p.45-2, 2002.

Ranney, T.G., Bassuk, N.L. and Whitlow, T.H. Influence of rootstock, scion and water on growth of “Colt” and meteor” cherry trees. **Hortscience**, 23, 9, p. 1204-1207, 1991.

Richards, D.L. and Reed, D.W. The effect of irrigation method, water soluble fertilization, preplant nutrient charge and surface evaporation on early vegetative and root growth of Poinsettia. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.39, n.2, April, 2004.

Robles, W.G.R., de Araújo, P.S.R. e Minami, K. Desenvolvimento de plântulas de limoeiro cravo relacionado a posição de semeadura. **Scientia Agricola**, v.57, n.2, abril-junho, p.371-373, 2000.

Salvador, C. A.; Fernandes, J. P. C.; Barreto, C. V. G. ; Testezlaf, R. Technological profile of irrigation utilized for certified growers of citrus nursery of the São Paulo State. In:

International Conference of Agricultural Engineering, the XXXVII Brazilian Congress on Agricultural Engineering and the International Livestock Environment Symposium-ILES VIII, 2008, Foz do Iguaçu-PR. **Annals of International Conference of Agricultural Engineering**, the XXXVII Brazilian Congress on Agricultural Engineering and the International Livestock Environment Symposium-ILES VIII, 2008.

Soares, T.M. **Desenvolvimento de três porta-enxerto cítricos utilizando águas salinas**. 2003. 94 f. Dissertação (mestrado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Teixeira, P.T.L., Schäfer, G., Souza, P.V.D., Todeschini, A. Desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em diferentes recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1695-1700, 2009.

Uva, W.F., Weiler, T.C., Milligan, R.A. Economic Analysis of adopting zero runoff subirrigation system in greenhouse operation in the northeast and north central united States. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.36, n.1, February, 2001.

Verdial, M.F., Iwata, A.Y., Lima, M.S.de, Tessarioli Neto, J. Influência do sistema “floating” no condicionamento do crescimento de mudas de pimentão (*Capsicum annum* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, n.1, janeiro/abril, 1998.

## **PUBLICAÇÃO 5**

***“Respostas fisiológicas de plântulas do limoeiro cravo na fase de sementeira irrigado por capilaridade”***

Submetido à Revista Brasileira de Fruticultura em 02/09/2010.

## **Respostas fisiológicas de plântulas do limoeiro cravo na fase de sementeira irrigado por capilaridade**

**Resumo:** A irrigação por capilaridade melhora a distribuição de água em viveiros, aumenta a disponibilidade hídrica para as plântulas, podendo trazer, a longo prazo, alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas. Buscando conhecer as respostas fisiológicas de porta-enxertos de limão cravo à irrigação por capilaridade, o presente trabalho avaliou comparativamente os parâmetros fisiológicos envolvidos na produção de porta-enxertos de limoeiro cravo para diferentes posições do nível de saturação no interior do tubete. Foram avaliados três tratamentos dispostos em blocos ao acaso: elevação de água a 2/3 de altura do tubete por 15 minutos, ou 8 cm de altura (T1); elevação da água a 1/3 de altura do tubete, ou 4 cm de altura (T2), com a mesma duração e aplicação manual de água por aspersão (T3). Foram determinados os seguintes parâmetros: potencial da água na folha, resistência estomática, transpiração e temperatura foliar. Os resultados indicaram maior potencial da água na folha para plântulas cultivadas sob T1, onde foi encontrada a maior eficiência estomática, indicada pela menor perda de água sob máximo fechamento dos estômatos e maior transpiração sob menor resistência estomática. As plantas sob T3 apresentaram maior transpiração vegetal sob máximo fechamento estomático, refletindo negativamente no potencial da água na folha. As plantas sob T2 demonstraram status hídrico intermediário. A aplicação de água por capilaridade apresentou plântulas com melhor status hídrico recomendando o tratamento T1 como manejo hídrico mais adequado.

**Palavras chave:** irrigação, citricultura, resistência estomática, potencial da água na folha.

## **Physiological responses of *Citrus limonia Osbeck* root stocks in seedling phase under capillary irrigation**

**Abstract:** The capillarity irrigation improves the water distribution in nurseries production, increasing water availability for the seedlings, which may bring the long-term morphological and physiological changes in plants. Seeking to understand the physiological responses of *Citrus limonia Osbeck* rootstock to capillarity irrigation, this study evaluated the comparative physiological parameters involved in the rootstock production for different positions of the

saturation level inside the production recipients. Three treatments were arranged in randomized blocks: elevation of water at two thirds height of the tube for 15 minutes, or 9 cm (T1), elevation of water at one third the height of the tube, or 3 cm height (T2), with the same duration and sprinkler manual application (T3). The following parameters were determined: leaf water potential, stomata resistance, transpiration and leaf temperature. The results showed greater leaf water potential for plants grown under T1, which was the highest stomata efficiency, indicated by the less loss of water at maximum stomata closure and increased transpiration under lower stomata resistance. Plants under T3 had higher plant transpiration under maximum stomata closure, which reflected negatively on leaf water potential. The citrus root stocks under T2 showed intermediary water status. The application of water by capillary showed better water status in the citrus root stocks, recommending treatment T1 as more appropriate as water management method.

**KEY WORDS:** irrigation, citrus crop, stomata resistance, leaf water potential.

### **Introdução**

O método de irrigação por capilaridade melhora a distribuição de água na produção de plântulas em recipientes, reduzindo o uso desse recurso nessa atividade, contrastando com o desperdício promovido pela aspersão, devido em parte ao efeito guarda-chuva das folhas das plantas, que acarreta na morte e na desuniformidade de plantas, decorrente da baixa uniformidade de distribuição de água (Landis et al., 2006; Landis, 1989 e Augusto et al., 2007). A diferença entre os métodos de irrigação ocorre tanto na intensidade de molhamento do substrato como da parte aérea das plantas pela alteração do micro clima no interior das estufas. A presença de umidade ideal no substrato em cultivo de mudas cítricas é fundamental para se obter um adequado desenvolvimento das plantas em viveiros, pois, se acontece em níveis excessivos ou ausentes, impacta negativamente o desenvolvimento vegetal (Fachini et al., 2004; Espeleta & Eissenstat, 1998; Sánchez et al., 2007). Assim, o manejo da irrigação em viveiros deve atender às necessidades hídricas das mudas, que se alteram ao longo dos seus estádios fenológicos (Fachini et al., 2004), atentando-se ainda ao microclima gerado pelo ambiente protegido (Medina et al., 1999; Machado, 2005; Pimentel et al., 2007) e ao manejo nutricional das plantas (Cruz et al., 2003; Starey, 1995; Bañuls & Millo, 1995) que

influenciam a sua fisiologia, e por conseguinte, seu desenvolvimento físico. Landis (1989) constatou em viveiros de mudas florestais que a perda de água por evaporação direta do substrato no início do desenvolvimento vegetal é mais relevante do que a perda por transpiração, e que, ao final do ciclo de crescimento, a atuação das raízes na extração de água torna-se um fator preponderante na perda de água do tubete. A saturação do meio de crescimento de raízes, quando em períodos prolongados, promove alterações na relação da difusividade gasosa das folhas e da taxa de difusão de oxigênio, resultando em desbalanços hormonais e alterações morfológicas vegetais (Sojka, 1992). As repostas fisiológicas em plantas de citros sob saturação prolongada ou sob estresse por seca são similares quando refletidas na umidade presente nas folhas, na condutância estomática e nas concentrações de elementos químicos (Sánchez et al., 2007). Adicionalmente, segundo Machado et al. (1999), as mudas de citros estressadas hidricamente apresentam valores de taxas de fotossíntese e de potencial hídrico vegetal inconstantes, dificultando a sua análise fisiológica. Dessa forma, é recomendável a determinação concomitante de atributos físicos, muitas vezes sensíveis às diferentes condições hídricas, tal como na relação entre área foliar e massa seca adquirida pela planta em um dado intervalo, conforme relatado por Ranney et al. (1991). Sojka (1992) reafirma o relacionamento das informações de fisiologia a outros parâmetros, tais como tempo de saturação, constituição gasosa e porosidade do solo para trabalhos de interpretação do fechamento estomático no diagnóstico de anoxia. Em viveiros de mudas florestais, o uso de Bomba de Scholander no manejo hídrico é prática corrente para determinações de potencial hídrico vegetal nos EUA (Landis, 1994; Landis, 1989), pois o potencial de água na planta é um parâmetro que se altera dinamicamente, como resposta às variações da umidade no substrato e das condições de demanda atmosféricas. Para minimizar a variabilidade imposta pelo ambiente diurno, o potencial hídrico na antemanhã representa melhor o status hídrico da planta, em resposta à condição hídrica do meio de crescimento de raízes (Landis, 2005). Embora Landis (1994) exemplifique a medição do potencial da água no caule de mudas florestais, Brunini & Angelocci (1998) demonstraram em mudas de café que o potencial da água nas folhas é mais sensível à disponibilidade da água no xilema. Plantas de limoeiro cravo em casas de vegetação tem a condutância estomática e a taxa de fotossíntese reduzida mediante o aumento da temperatura e do déficit de pressão de vapor, ou seja, estes elementos interferem na eficiência instantânea do uso da água (Medina et al., 1999). Essa condição

também foi constatada por Pimentel (2007) que a relacionou ao fato de que as enzimas envolvidas no processo de carboxilação são mais ativas entre 25 e 30°C, quando os valores da taxa de assimilação de carbono são respectivamente 8,9 e 7,9 mmol m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>.

O uso da irrigação por capilaridade na produção de porta-enxertos de plântulas cítricas pode determinar alterações na fisiologia vegetal, por efeito cumulativo da saturação temporária, principalmente sob níveis mais elevados de saturação e por efeito do não molhamento da parte aérea das plantas e das bancadas. Buscando entender o comportamento fisiológico das plântulas de citros cultivadas por capilaridade, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar comparativamente os parâmetros fisiológicos envolvidos na produção de porta-enxertos de limoeiro cravo para diferentes posições do nível de saturação no interior do tubete.

### **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação telada no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, localizada a 22°48'57"S e 47°03'33"O, no período de 24/11/2009 a 23/01/2010. Plântulas de limoeiro cravo foram acondicionadas em tubetes comerciais preenchidos com substrato fino de casca de pinus e que tinham as seguintes dimensões: 12,5 cm de altura por 2,8 cm em seu maior diâmetro, resultando em um volume útil de 50 cm<sup>3</sup>. Os tubetes com as plântulas foram posicionados em bandejas desenvolvidas para aplicação de água por capilaridade. Os tratamentos consistiam em irrigar as plântulas com água de abastecimento urbano, com aplicações a diferentes posições da linha de saturação no interior do tubete, permitindo que por capilaridade diferentes volumes do substrato fossem umedecidos. Foram utilizadas duas alturas do nível de saturação: até 2/3 da altura do tubete (T1) ou seja, com a elevação de água a 8 cm de sua base, e até 1/3 da altura dos tubetes (T2), ou seja, com elevação de água a 4 cm de sua base. Em ambos os tratamentos foi utilizado um tempo de 15 minutos de permanência do nível de água nessas alturas. Esses tratamentos foram comparados com os resultados obtidos pela irrigação tradicional realizada por meio de chuveiros (T3). Os tratamentos se iniciaram para plântulas com 30 dias após semeadura (DAS), e foram cultivadas até o último tratamento atingir altura média mínima de 18 cm ou quando as plantas completarem 90 DAS, fase limite para transplantio em sacolas de 5 litros pelos produtores (Boaventura et al., 2004). As plantas eram irrigadas diariamente às 8:00 da

manhã e fertirrigadas a cada três dias até a fase de 60 DAS e a cada dois dias com as plantas após 60 DAS.

No experimento as parcelas experimentais eram de 54 plantas com 5 repetições por tratamento e dispostas em delineamento de blocos ao acaso sobre as mesas de bandejas. As avaliações fisiológicas consistiram nas determinações dos seguintes parâmetros: potencial da água na folha, resistência estomática, transpiração e temperatura foliar. Essas determinações foram realizadas nos dias 01/12/2009 (36 DAS), 19/12/2009 (55 DAS), 31/12/2009 (67 DAS), 08/01/2010 (75 DAS) e 23/01/2010 (90 DAS). Para avaliação do potencial da água na folha era retirada uma subamostra de uma folha do terceiro par de folhas por planta por parcela para cada horário e para medição das variáveis medidas pelo porômetro foram realizadas 4 medições por parcela por horário. Nestas avaliações foi empregada uma bomba de Scholander e um porômetro recomendado por Machado et al. (1999), para correlacionar os valores de potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ), transpiração (T) e resistência estomática (R), temperatura foliar e temperatura do ar. No dia 19/12/2009, as avaliações com o porômetro e a bomba de Scholander foram realizadas na antemanhã, às 8:00, 10:00, 12:00 e 14:00, sem, no entanto empregar-se o porômetro na antemanhã. Nos dias 01/12/2009 e 08/01/2010 foram realizadas leituras do potencial da água na folha na antemanhã e ao meio dia, com leitura do porômetro ao meio dia também. Nos dias 31/12/2009 e 23/01/2009 foram realizadas leituras apenas de  $\Psi_f$  na antemanhã e ao meio dia.

Para cada dia de análise com porômetro e bomba de Scholander foram subamostradas 3 plantas por parcela, para a realização das análises fitométricas utilizadas na determinação da assimilação de carbono. Determinou-se para estes dias a área foliar (AF) por meio de um integrador de área foliar Li-Cor LI-3000 e a massa seca total das plantas com uma balança da marca Marte Modelo AL-500 com precisão de 3 casas, para determinação da média de assimilação de carbono ( $\ddot{E}$ ), que, de acordo com Ranney et al. (1991), pode ser definida pela Equação 1:

$$\ddot{E} = \frac{2(W_2 - W_1)}{(L_{a_2} - L_{a_1})(T_2 - T_1)}$$

Equação 1

onde:

$La_2$  e  $La_1$  = área foliar nos tempos final e inicial ( $L^2$ ), respectivamente

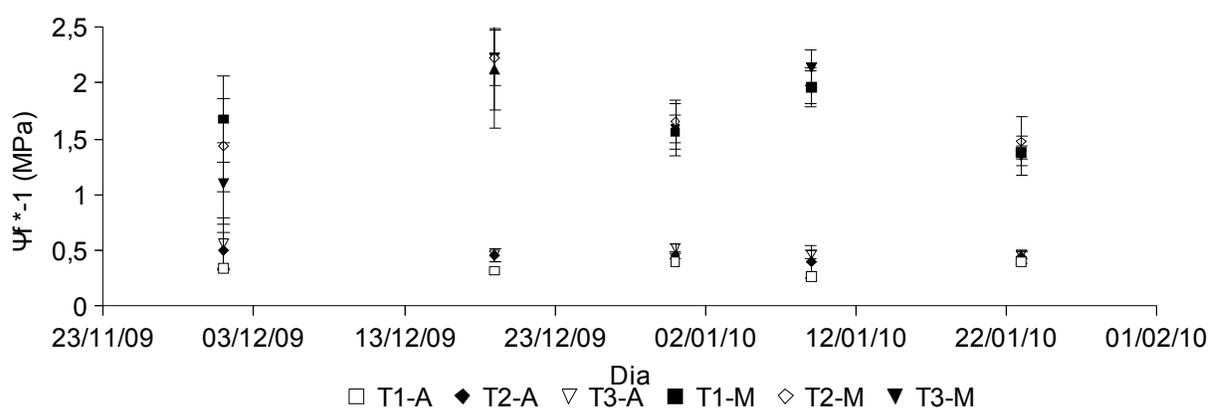
$W_2$  e  $W_1$  = massa seca (M) nos tempos final e inicial, respectivamente

$T_2$  e  $T_1$  = tempos final e inicial (T), respectivamente.

Na análise dos dados obtidos nas determinações foram empregados métodos de estatística descritiva.

### Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta a variação do potencial de água na folha das plântulas de limoeiro cravo para os tratamentos e períodos avaliados.



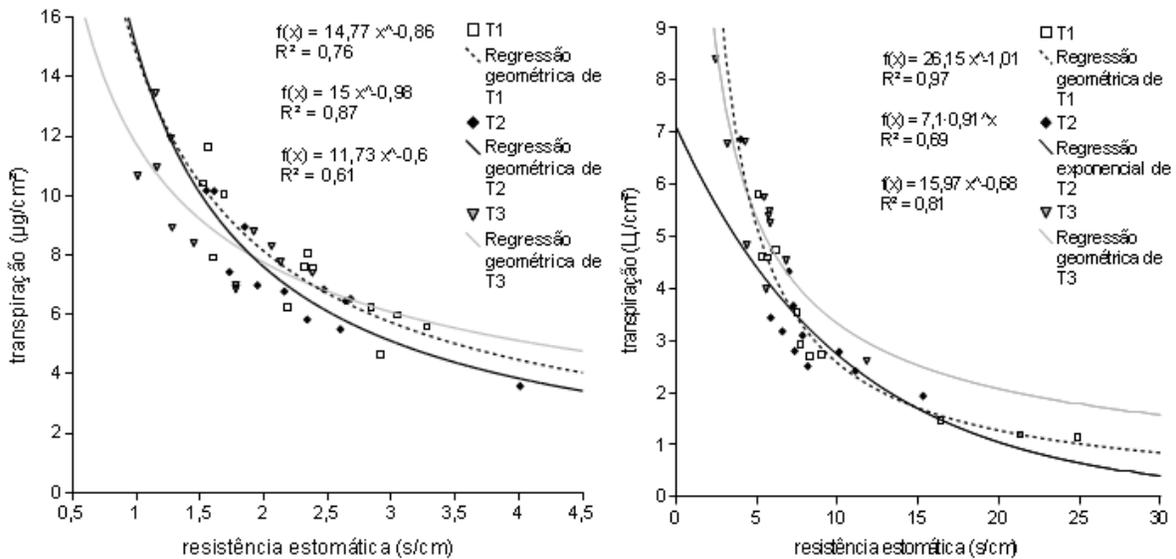
**Figura 1. Potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) de plântulas de limoeiro cravo sob os tratamentos T1, T2 e T3 na antemanhã (A) e ao meio dia (M) ao longo do ciclo.**

Pela Figura é possível observar que ao longo do ciclo, no período da antemanhã, as plantas de limoeiro cravo sob o tratamento T1 apresentaram predominantemente maior potencial da água na folha, com média de -0,35 MPa's para o período, no entanto, esta condição foi significativa em relação aos demais tratamentos. Da mesma forma, o tratamento T3 manteve-se com potencial da água na folha mais negativo, com média de -0,49 MPa's para todo ciclo da cultura. O tratamento T2 manteve-se em nível intermediário, com média de -0,45 MPa's para o período estudado.

Às 12horas as diferenças estatísticas para o período estudado não foram significantes estatisticamente.

O potencial da água na folha na antemanhã, que reflete melhor a relação solo-planta em viveiros (Landis, 2005), indicou melhor status hídrico para plantas irrigadas com maior elevação da saturação das plantas (T1), concordando com a boa produtividade das mudas de citros irrigadas por capilaridade com elevação até 60% do volume do tubete.

A variação da relação da transpiração com a resistência estomática ao meio dia para os tratamentos avaliados está apresentada na Figura 2.



**Figura 2. Relação resistência estomática e transpiração nos dias 01/12/2009 e 19/12/2009 para os tratamentos T1, T2 e T3 ao meio dia.**

Nessa Figura é possível verificar que, ao meio dia, a correlação transpiração e resistência estomática apresentou-se favorável ao melhor status hídrico nas plântulas de limoeiro cravo cultivadas sob o tratamento T1. De acordo com as curvas de T1 obtidas para o dia 01/12/2009, a transpiração foi menor para maiores valores de resistência estomática. Sob altos valores de resistência estomática, T2 e T3 apresentaram maior tendência de perdas de água por transpiração, principalmente T3. Por outro lado, T3 apresentou a menor transpiração sob menores valores de resistência estomática. Essa distinção de transpiração de T3 em relação aos tratamentos T1 e T2 inicia-se entre 2,0 e 2,5  $s\ cm^{-1}$ .

Observando a correlação transpiração e resistência estomática no dia 19/12/2009, notou-se ajuste dos estômatos que atribuíram menor perda de água por transpiração para o tratamento T1. Em uma situação oposta, T3 apresentou regulação fisiológica que favorece à

maior transpiração para todos os níveis de resistência estomática. De uma forma intermediária, T2 apresentou regulação que restringe a perda de água em maiores valores de resistência estomática e, que, favorece à maior transpiração em valores mais baixos de resistência estomática.

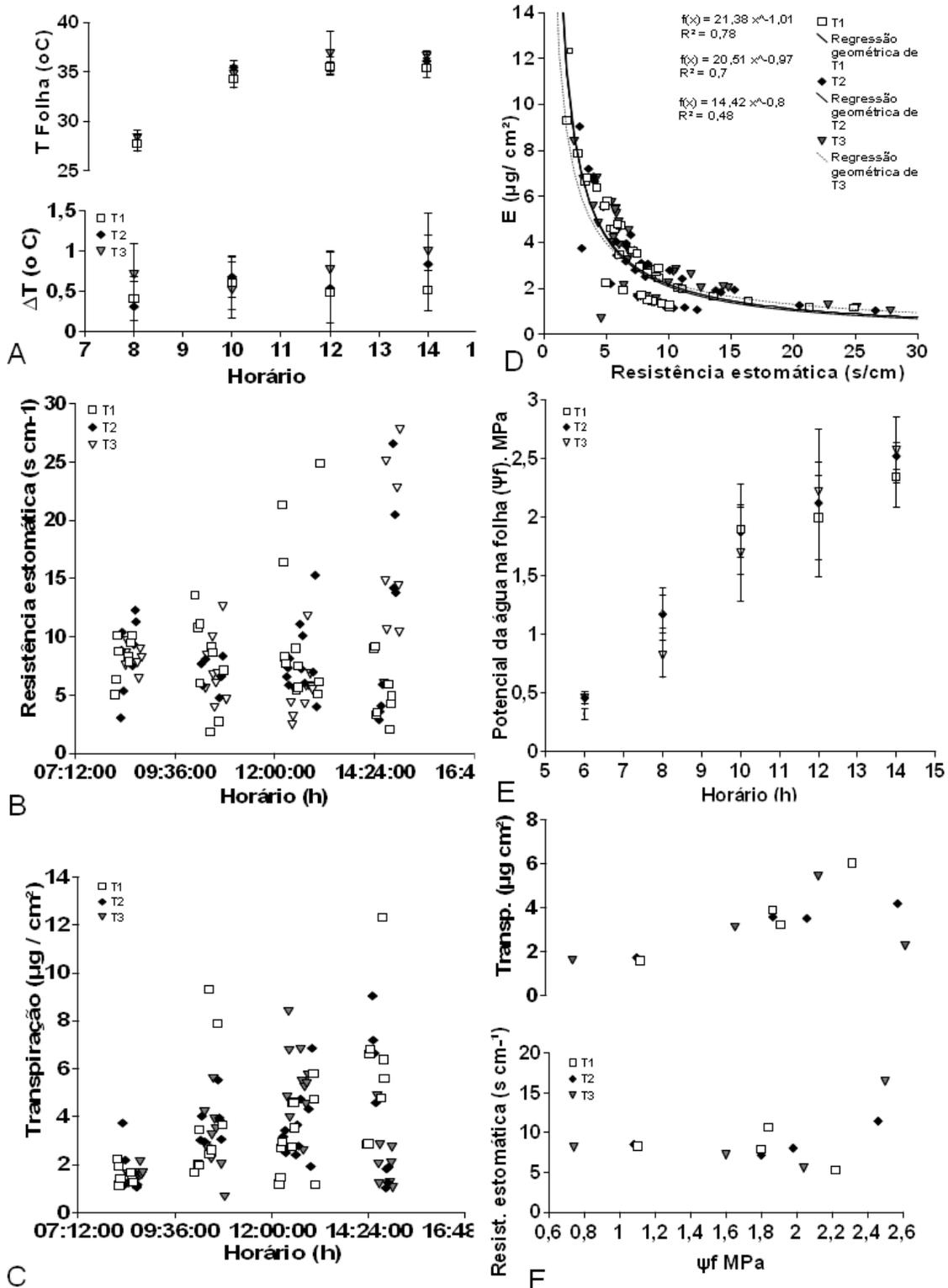
Mediante condições de temperatura elevada, como às 12:00, ocorre redução na condutância estomática (Medina et al., 1999), momento em que os efeitos de tratamentos foram ressaltados. Sob esta condição, notou-se melhor eficiência no fechamento estomático de T1 e T2 em relação à T3. Esse fenômeno concorda com Sojka (1992), que afirma que durante prolongados períodos de saturação por lençol de água, são observadas alterações na difusividade de gases e na morfologia de diversas espécies. Embora não seja observada saturação contínua, conforme relatou o último autor, o efeito cumulativo de rápidas saturações também é notado nas mudas de citros, tanto em fisiologia como no desenvolvimento de raízes fora do tubete (*avaliação morfológica não constante no escopo deste trabalho*) e na relação de massa entre folhas em relação ao peso total da planta (Tabela 1).

Na Figura 3 estão contidos resultados da avaliação fisiológica de 19/12/2009 na qual constam as variações encontradas no período para os parâmetros fisiológicos de temperatura foliar, temperatura do ar, potencial da água na folha, resistência estomática e transpiração. Nesta avaliação observou-se diferenciação na dispersão dos dados de resistência estomática e transpiração, conforme se observa na Figura 3B. As plantas cultivadas sob o tratamento T1 apresentaram tendência de decréscimo da resistência estomática de acordo com o aumento da temperatura foliar, ao passo que as plantas cultivadas sob os tratamentos T2 e T3 apresentaram tendência crescente, principalmente as plantas sob o tratamento T3. Os dados de resistência estomática dispersam-se de acordo com o aumento da temperatura foliar para T2 e T3, ao longo dos horários das 8:00, 10:00, 12:00 e 14:00, com médias e erro padrão de  $8,52 \pm 3,1$ ;  $7,18 \pm 1,32$ ;  $8,06 \pm 3,5$  e  $11,45 \pm 8,82$  para T2; e;  $8,18 \pm 1,06$ ,  $7,21 \pm 2,74$ ,  $5,56 \pm 2,44$  e  $16,49 \pm 7,84$  para T3. Nota-se que é progressiva a variação e elevação dos valores de resistência estomática para T2 e T3. As plantas cultivadas sob T1 apresentaram médias e erro padrão de  $8,25 \pm 1,81$ ,  $7,9 \pm 3,89$ ,  $10,67 \pm 6,95$  e  $5,27 \pm 2,62$ , notando-se um comportamento decrescente da resistência estomática e da variação de seus valores. Foi notada dispersão progressiva dos dados de transpiração, de forma correspondente ao aumento da temperatura foliar, conforme se observa na Figura 3C. As plantas sob o tratamento T1 apresentaram maior tendência de crescimento da

transpiração e dispersão dos dados de acordo com o aumento da temperatura foliar. Embora menos forte em sua tendência de crescimento, a transpiração observada em plantas sob T3 apresentou maior condensação de dados sob maiores valores de temperatura. Para os horários estudados, as médias e erro padrão de transpiração para T1 foram:  $1,58 \pm 0,36$ ,  $3,89 \pm 2,77$ ,  $3,22 \pm 1,59$  e  $6,03 \pm 2,99$ ; para T2 foram  $1,73 \pm 0,89$ ,  $3,58 \pm 0,88$ ,  $3,52 \pm 2,23$  e  $4,19 \pm 3,12$ ; e para T3 foram  $1,62 \pm 0,27$ ,  $3,13 \pm 1,42$ ,  $5,44 \pm 1,56$  e  $2,27 \pm 1,26$ .

A menor resistência estomática para todos os tratamentos, medida às 10:00 da manhã, apresenta coerência em relação aos resultados de Medina et al.(1999), que encontraram na avaliação das 9:00 da manhã maior condutância estomática em plantas enxertadas sobre limoeiro cravo. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram aumento da temperatura foliar acima da temperatura ambiente nas horas mais quentes do dia (Figura 3A), condição em que o limbo foliar perde água e fecha estômatos (Medina et al., 2003). Por isso, ocorreu crescente transpiração até às 14:00, de forma correspondente com a temperatura, concordando também com Medina et al. (1999), que encontrou o mesmo comportamento para laranjeira Valência. As plantas sob tratamento T1, no entanto, apresentaram tendência de redução na resistência estomática e aumento na transpiração, comportamento inverso ao das plantas estressadas segundo Medina et al. (2003) e Medina et al. (1999). Desta forma, a maior disponibilidade hídrica do tratamento T1 favoreceu a abertura estomática e a transpiração (Medina, 1999), processo fundamental à assimilação de carbono (Medina et al., 2003), para se atingir maior desenvolvimento de mudas de citros irrigadas por capilaridade, conforme foi observada por Teixeira (2009).

Correlacionando-se os valores de resistência estomática e transpiração obtidos ao longo dia, foi obtida a curva de ajuste estomático, conforme se observa na Figura 3D. As plantas cultivadas sob T3 apresentaram regulação para obter menores perdas de água por transpiração até a resistência estomática de  $7,5 \text{ s cm}^{-1}$ , no entanto, após esse ponto há inversão, e os estômatos apresentam regulação para maiores valores de perda de água por transpiração por unidade de área de abertura estomática. Considerando que a equação da transpiração na Figura 3B indica ocorrência do valor de  $7,5 \text{ s cm}^{-1}$  para 11 horas. Desta forma, a regulação estomática condiciona à menor eficiência no fechamento estomático no momento em que a planta possui maior fechamento estomático e menor transpiração, ou seja, no horário mais quente do dia.



**Figura 3.** Respostas de porta-enxertos de limoeiro cravo sob T1, T2 e T3, sob os aspectos de temperatura foliar e gradiente entre temperatura da folha e do ar (A), resistência estomática (B), transpiração (C), eficiência de fechamento estomático (D), potencial da água na folha (E), relação potencial da água na folha com transpiração e resistência estomática.

O acréscimo na abertura estomática em citros está positivamente ligada ao acréscimo na pressão de turgor das células-guarda e, negativamente relacionada à pressão de turgor das células adjacentes e subsidiárias da epiderme, que circundam as células guarda (Steppe et al., 2006). Com este princípio, o fechamento dos poros conduziriam a resistência estomática a um crescimento infinito, o que impediria, praticamente, toda a entrada de CO<sub>2</sub> (Medina et al., 2003). No entanto, esses autores ainda afirmam que quando o teor de água na folha de citros cai para um nível abaixo do valor limite, o estômato se fecha, com conseqüente redução da transpiração e da assimilação de carbono. Assim, entende-se que as plantas sob T3 apresentariam menor pressão de turgor, decorrente da menor quantidade de água na planta, desfavorecendo a regulação estomática.

Embora não significativo, o melhor status hídrico das plantas sob o tratamento T3 na manhã, com posterior reversão entre 10:00 e 12:00 para valores mais negativos do potencial da água na folha, pode ser observado na Figura 3E. Conforme foi citado anteriormente, aproximadamente às 11:00 é iniciada a fase em que ocorre maior transpiração ou perda de água por unidade de área aberta de estômato sob processo de fechamento. Essa concordância entre os parâmetros indicam aumento do estresse hídrico às 11:00 para plantas sob T3. A correspondência entre avaliações fisiológicas também pode ser observada para os parâmetros dos tratamentos T1 e T2. Anteriormente ao horário das 11:00, revelou-se menor transpiração e maior resistência estomática para plantas T1, sendo que, estas mesmas plantas apresentaram valores mais baixos de potencial da água na folha para 8:00 e 10:00. Após 11:00 da manhã, no horário mais quente, as plantas sob tratamento T1 retomaram o melhor status hídrico, já observado na antemanhã. Esse comportamento corresponde com o potencial da água na folha de T1, às 12:00 e às 14:00, que é maior do que o dos demais tratamentos, conferindo com a maior transpiração e menor resistência estomática encontradas (Figuras 3B e 3C). O tratamento T2 demonstrou resultados intermediários entre os tratamentos T1 e T3.

A irrigação de mudas por capilaridade atribui melhor distribuição de água nos tubetes (Landis et al., 2006), e, o molhamento de 66% do tubete condiciona a planta ao melhor status hídrico, concordando com Teixeira et al. (2009), que afirma acarretar maior produção vegetal tubetes cujo volume tenham sido molhados em 60%. O melhor status hídrico de T1 em relação a T2 indica haver relação direta entre maior teor de água no substrato e maior desenvolvimento vegetal (Fachini et al., 2004). Isso porque plantas melhor hidratadas

apresentam maior transpiração (Medina et al., 1999), e, este processo está ligado à assimilação de carbono devido à abertura estomática (Medina et al., 2003). Desta forma, infere-se que a capilaridade favorece o desenvolvimento vegetal pelo fato de se atribuir ao tratamento melhor status hídrico.

Como forma de integração dos resultados levantados pelo método do porômetro e da bomba de Scholander, a relação entre o potencial da água na folha e a resistência estomática e, potencial da água na folha e transpiração, demonstrou tendência aos resultados explanados acima (Figura 3F). O tratamento T1 demonstrou tendência de aumento de transpiração com o aumento do potencial da água na folha. O tratamento T3 apresentou relação de aumento da transpiração até 0,21 MPa de potencial da água na folha, com queda após este valor de potencial da água na folha. De forma correspondente, a resistência estomática decresceu até o mesmo valor de potencial da água na folha, com posterior elevação sob 0,25 MPa. O tratamento T2 apresentou elevação de transpiração de acordo com o potencial da água na folha, porém, de forma menos pronunciada que em T1. A relação de redução da transpiração de acordo com a redução do potencial de água na folha ocorre com plantas de citros em que a água não é repostada (Medina et al., 1999), sendo, que T3, sob potenciais mais baixos, apresenta maior queda no valor de transpiração, enquanto os tratamentos que apresentam menor restrição à hidratação apresentam crescimento contínuo da transpiração, mesmo sob potenciais mais negativos (Camacho-B et al., 1974), representando melhor suprimento de água às plantas sob irrigação por capilaridade. Os mesmos autores definiram que plantas de citros respondem às demandas hídricas do meio ambiente com um elevado fechamento estomático, com baixa eficiência no seu sistema de transporte de água, que, não impede a redução dos níveis de potencial da água na folha. A tendência de haver menor resistência estomática sob valores mais negativos de potencial da água na folha, no entanto, concorda com Steppe et al. (2006).

A Tabela 1 apresentada os valores de taxa de assimilação de carbono ao longo do cultivo das plântulas cítricas, na qual se nota maior concentração de carbono nos tratamentos de irrigação por capilaridade.

A maior taxa de assimilação de carbono notada para plantas sob T1 pode ser observada na Tabela 1, assim como os menores valores para plantas sob T3. Esse resultado, observado ao longo de quase todo o ciclo, reflete o efeito da maior disponibilidade hídrica observada nas análises discriminadas acima.

**Tabela 1. Taxa de assimilação de carbono pelas folhas ( $\ddot{E}$ ), Área foliar e Relação folhas / plântula inteira das plântulas de limoeiro cravo para T1, T2 e T3 aos 36, 55, 75 e 90 DAS.**

<b>I.W.U.E. (mg cm<sup>2</sup> dia)</b>								
	<b>36 DAS</b>		<b>55 DAS</b>		<b>75 DAS</b>		<b>90 DAS</b>	
	<b>média</b>	<b>e.p.m.</b>	<b>média</b>	<b>e.p.m.</b>	<b>média</b>	<b>e.p.m.</b>	<b>média</b>	<b>e.p.m.</b>
<b>T1</b>	0,505	±0,16	0,661	±0,07	0,48	±0,07	0,91	±0,03
<b>T2</b>	0,502	±0,11	0,536	±0,06	0,47	±0,09	0,95	±0,05
<b>T3</b>	0,713	±0,17	0,449	±0,01	0,36	±0,02	0,83	±0,03
<b>Área Foliar (cm<sup>2</sup>)</b>								
<b>T1</b>	25,66	±3,19	56,77	±4,03	92,63	±5,45	147,49	±9,76
<b>T2</b>	22,83	±1,51	50,78	±2,17	67,29	±4,52	114,02	±7,88
<b>T3</b>	26,43	±1,54	47,79	±2,41	62,29	±4,04	83,07	±4,91
<b>Relação folhas / Planta inteira</b>								
<b>T1</b>	0,48	0,036	0,56	0,040	0,54	0,040	0,62	0,062
<b>T2</b>	0,5	0,037	0,55	0,038	0,52	0,040	0,6	0,062
<b>T3</b>	0,48	0,034	0,51	0,041	0,48	0,034	0,56	0,06

A maior assimilação de carbono nas plantas sob o tratamento T1 relaciona-se com as maiores trocas gasosas efetuadas por seus estômatos (Medina, 2003), que também relaciona-se com o maior potencial da água na folha e eficiência estomática medidas entre os tratamentos. Desta forma, ao se correlacionar a análise fisiológica medida diretamente com o porômetro, com a análise física que define atributos fisiológicos, definiu-se melhor os fenômenos envolvidos nos processos fisiológicos estudados Sojka (1992).

Ficou demonstrado que, mesmo em níveis estatisticamente não significativos, os atributos fisiológicos medidos apresentam efeito cumulativo, que traduzem-se em desenvolvimento vegetal, a exemplo dos valores de área foliar e relação folha em relação à planta inteira. Além do mais, folhas de citros demoram em adquirir competência fotossintética, e, tornam-se fontes exportadoras de fotoassimilados depois de sua completa expansão e desenvolvimento estomático, que dependendo da espécie, está dentro de uma contagem que varia entre 400 a 700 unidades/mm<sup>2</sup> (Medina et al., 2003). Com isso, o maior enfolhamento e razão folhas/planta inteira encontrado nas plântulas sob irrigação por capilaridade, lançam para plantas sob esta técnica de irrigação, ainda, melhor perspectiva de desenvolvimento, em decorrência das folhas novas ainda não totalmente fotossinteticamente competentes.

### **Considerações finais**

A saturação de 66% do volume dos tubetes das plantas sob T1 proporcionou melhor status hídrico, favorecendo o acúmulo de matéria seca e desenvolvimento vegetal, o que concorda com Teixeira (2009), que também encontrou boa produtividade para mudas que cresceram com irrigação por capilaridade saturando 60% do volume do tubete. Nas relações hídricas em mudas de café, Brunini e Angelocci (1998) demonstraram que a maior resistência no transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera está na interface solo-raiz, por isso, a maior umidade no meio de crescimento de raízes possibilita, mais continuamente, boa difusividade de água do meio para a raiz. Além do pior status hídrico, a perda de eficiência na função do fechamento estomático das plantas sob T3, atribuída à menor quantidade de água disponível para a de turgescência das células-guarda, proporcionou menor acúmulo de carbono.

### **Conclusão**

Conclui-se que as plantas sob capilaridade apresentaram melhor status hídrico, com maior troca de gases, menor temperatura foliar, maior enfolhamento com estômatos mais eficientes, resultando em maior acúmulo de carbono, que, conseqüentemente, encurta o ciclo de plântulas de limoeiro cravo na fase de tubetes. As plantas sob T1 apresentaram melhor capacidade de recuperação do estresse hídrico diário devido à maior eficiência estomática. O tratamento T2 apresentou resultados similares, no entanto, com perdas de água pouco maiores que as plantas de T1. Por outro lado, plântulas sob T3 apresentaram menor capacidade de recuperação da água perdida em transpiração, reflexo da maior perda de água sob máximo fechamento estomático.

### **Agradecimentos**

Ao CNPq pelo financiamento do projeto e ao Instituto Agronômico, em especial à Seção de Ecofisiologia e Biofísica, pelo empréstimo de equipamentos essenciais à realização deste trabalho.

### **Referências Bibliográficas**

Augusto, D.C.C., Guerrini, I.A., Engel, V.L., Rousseau, G.X. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de

- Eucalyptus grandis Hill. Maiden. Viçosa, **Revista Árvore**, v.31, n.4, p.745-751, 2007.
- Bañuls, J. and Millo, E.P. Effects of salinity on Some Citrus Scion-Rootstock Combinations. **Annals of Botany**, 76, p.97-102, 1995.
- Boaventura, P.R.R., Quaggio, J.A., Abreu, M.F., Bataglia, O.C. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal., v.6, n.2, p.300-305, Agosto, 2004.
- Brunini, O. e Angelocci, L.R. Resistência ao fluxo de água no sistema solo-planta e recuperação do potencial da água na folha após estresse hídrico em mudas de cafeeiro. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.10, n.1, p. 45-50, 1998.
- Camacho-B, S.E., Hall, A.E., Kaufmann, M.R. Efficiency and regulation of water transport in some woody and herbaceous species. **Plant Physiology**, v.54, p.169-172, 1974.
- Cruz, J.L.; Pelacani, C.R.; Soares Filho, W.S.; Castro Neto, M.T.; Coelho, E.F.; Dias, A.T.; Paes, R.A. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do limoeiro “cravo” submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v.25, n.3, p.528-531, 2003.
- Espeleta, J.F. and Eissenstat, D.M. Responses of citrus fine roots to localized soil drying: a comparison of seedlings with adult fruiting trees. **Tree Physiology**, v.18, p.113-119, 1998.
- Fachini, E, Galbiatti, J.A. e Pavani, L.C. Níveis de irrigação e de composto de lixo orgânico na formação de mudas cítricas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.578-588, set-dez., 2004.
- Landis, D.L. Irrigation and water management. In: Landis, T.D. Tinus, R.W., McDonald, S.E., Barnett. J.P. **The container tree nursery manual**, v.4, Agricultural Handbook, 674. Washington, DC U.S. Department of agriculture, Forest Service, 1989.
- Landis, T.D. Cultural Perspectives IN: **Forest Nursery Notes**, January, 1994.
- Landis, T.D. Water Potential IN: **Forest Nursery Notes**: Summer, June, 2005.
- Landis, T.D.; Dumroese, K.; Chandler, R. Subirrigation trials with native plants. **Forest Nursery Notes**, 2006.
- Machado, E.C.; Schmidt, P.T.; Medina, C.L.; Ribeiro, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005.
- Machado,E.C., Medina, C.L., Gomes, M.A.M. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranja “Valência”. **Bragantia**, Campinas, 58, p.217-226, 1999.
- Medina, C.L., Rena, A.B., Siqueira, D.L. And Machado, .C. Fisiologia dos citros. In: Matos

Júnior, de Negri, J.D., Pio, R.M., Pompeu Jr, J. **Citros**, Campinas, Instituto Agronômico e Fundag, 2003. p.149.

Medina, C.L.; Machado, E.C.; Gomes, M.A.M. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira “valência” sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, n.1, p.29-34, 1999.

Pimentel, C.; Bernacchi, C. and Long, S. Limitations to photosynthesis at different temperatures in the leaves of Citrus lemon. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.2, p.141-147, 2007.

Ranney, T.G.; Bassuk, N.L.; Whitlow, T.H. Influence of rootstock, scion and water deficit on growth of “colt” and 'meteor' cherry trees. **Hortscience**, v.26, n.9, p.1204-1207, 1991.

Sánchez, F.G., Syvertsen, J.P., Gimeno, V., Botía, P. and Perez J.G.P. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. **Physiologia Plantarum**, v.130, p.532-542, 2007.

Sojka, R.E. Stomatal Closure in oxygen-stresses plants. **Soil Science**, v.4, n.154, p.269-280, 1992.

Steppe, K., Dzikiti, S., Lemeur, R., Milford, J.R. Stomatal oscillations in orange trees under natural climatic conditions. **Annals of Botany**, 2006. doi:10.1093/aob/mc1031.

Storey, R. Salt tolerance, ion relations and the effect of root medium on the response of citrus to salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.22, p.101-104, 1995.

Teixeira, P.T.L., Schäfer, G, Souza, P.V.D., Todeschini, A. Desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em diferentes recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1695-1700, 2009.

## DISCUSSÃO GERAL

Os resultados apresentados na avaliação do substrato com melhores características para ser utilizado na irrigação por capilaridade, permitiram observar a maior capacidade de retenção e elevação de água por capilaridade em substratos de textura fina, sendo que o substrato de fibra de coco se sobressai devido à melhor aeração aliada à boa retenção de água. Tais características corroboram para que o substrato fino de fibra de coco possua melhor altura e taxa de ascensão capilar quando umedecido, resultando em melhor uniformidade da umidade no perfil. Por outro lado, quando seca, a fibra de coco é hidrofóbica, tornando arriscados turnos de rega demasiadamente espaçados. Por outro lado a maior quantidade de água disponível no perfil é um fator compensador a esta limitação. O substrato fino de casca de pinus também apresenta boa taxa de ascensão capilar e retenção de água, com a vantagem de não ser hidrofóbico quando seco. Por outro lado, apresentou uniformidade de molhamento no perfil abaixo da uniformidade observado para o substrato de fibra de coco, o que acarreta em maior susceptibilidade de dessecação das camadas superiores do substrato. Os substratos grosseiros retêm menos água, o que também é refletido no menor volume de água disponível no perfil. O substrato grosseiro de casca de pinus apresenta elevação insuficiente para manter o molhamento do perfil e repor a quantidade de água perdida para a atmosfera, porém não é hidrofóbico quando seco. O substrato grosseiro de fibra de coco não apresenta condições de retenção de água ou molhamento via capilaridade, além de ser hidrofóbico, o que inviabiliza seu uso.

Na comparação da irrigação por capilaridade com o método tradicional de irrigação manual, verificou-se que a maior disponibilidade de água em tratamentos de irrigação por capilaridade refletiu positivamente no desenvolvimento de mudas, o que demonstra a importância deste sistema na produção agrícola sob estufas. Elevando-se o lençol de água a  $2/3$  da altura total do tubete promoveu-se maior precocidade para o término do ciclo, com resultado similar ao tratamento que elevou o lençol de água a  $1/3$  da altura do tubete. O melhor desenvolvimento das plantas irrigadas por capilaridade são reflexo do seu melhor status hídrico, resultado de sua maior troca de gases, menor temperatura foliar e maior enfolhamento com estômatos mais eficientes. Por outro lado, os porta-enxertos cultivados sob aspersão

apresentaram ciclo mais prolongado decorrente da menor capacidade de recuperação da água perdida em transpiração, reflexo da maior perda de água sob máximo fechamento estomático.

A aplicação de água por chuveiros, obedecendo a lâmina adicional de água descrita por Milner (2002), obteve o pior resultado dentre os tratamentos avaliados. Esse resultado pode ter sido decorrência de as irrigações terem sido procedidas uma vez ao dia em todos os tratamentos, possivelmente uma maior frequência de irrigação elevaria a umidade do substrato, de acordo com Francescato (1995). Para se obter este mesmo efeito, é recomendado por Fermino (2002), o uso de substratos com capacidade de maior retenção de umidade. Embora não tenha sido observado hidrofobia no substrato das mudas de citros, conforme relatou Soares (2003), a menor produção das mudas irrigadas por aspersão está relacionada à menor umidade no meio. A necessidade de se aumentar a frequência de irrigação para porta-enxertos cultivados sob aspersão manual é desvantajosa em relação às plantas cultivadas sob capilaridade, pois além de ser um sistema que promove o desperdício de água e insumos (Gervásio, 2003), a aspersão é empregado em 92% dos viveiros paulistas (Almeida, 2003).

Os porta-enxertos de limoeiro cravo irrigados por capilaridade apresentaram melhor status fisiológico, impactando no desenvolvimento vegetal, com abreviação do ciclo de acordo com os parâmetros estabelecidos por Almeida (2003), corroborando para a redução de custos das mudas. Não foram observados efeitos de fitotoxidez nas plantas cultivadas, o que torna desnecessária a adoção de manejos hídricos, tais como descreve Milner (2002), para favorecer o equilíbrio iônico do meio.

Por outro lado, não foram desenvolvidos meios de esterilização da água específicos para este sistema de irrigação, imprescindíveis para eliminação de microorganismos fitopatogênicos previstos na CDA n.5 de 03/02/2005, e que, possuem sobrevivência em água de até 20 dias (Porter & Johnson, 2004). Torna-se necessário a adoção de tais soluções com o objetivo de filtrar e esterilizar as soluções percoladas, com a finalidade de se reduzir o impacto ambiental da atividade agrícola, presente também na contaminação de lençol freático, como relatam Toshiaki et al. (2004).

## **CONCLUSÃO GERAL**

Os resultados das etapas realizadas na pesquisa permitiram chegar as seguintes conclusões:

### **Com relação ao substrato:**

- Para irrigação de plântulas em pequenos recipientes, tais como tubetes de 50cm<sup>3</sup>, o substrato de casca de pinus se mostrou adequado para uso em sistemas de irrigação por capilaridade, tanto para texturas mais grosseiras e mais finas e em qualquer condição de umidade. O substrato de fibra de coco, apesar de apresentar boas características físicas, conduz água por capilaridade apenas sob textura fina e umedecido.

### **Com relação ao sistema por capilaridade:**

- O sistema de irrigação por capilaridade se mostrou adequado para a produção de cavalinhos de limoeiro cravo por melhorar a hidratação vegetal, favorecendo a regulação estomática com folhas menos aquecidas e mais eficientes na absorção de carbono, resultando em desenvolvimento precoce das plântulas apresentando boa altura e diâmetro de caule, bom enfolhamento e desenvolvimento radicular.

## RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados e das experiências obtidas nos trabalhos realizados, foram formuladas recomendações para a continuidade da pesquisa na área, buscando contribuir com desenvolvimento do setor de produção de mudas cítricas mediante emprego da irrigação por capilaridade:

- É necessário avaliar a utilização de sistema de filtragem para separação de partículas e de tratamentos de esterilização da água para viabilizar o fechamento do sistema e promover o reuso da água.
- Uma vez comprovada a boa resposta da espécie na fase de tubetes, cabe testar o desenvolvimento das plantas cítricas nas fases subseqüentes em sacola, que são possuem maior duração e consomem maior quantidade de água. Para viabilizar sua implementação, recomenda-se adicionalmente o estudo da dinâmica da água no substrato em recipientes de 2 litros, tais como empregados na formação das mudas na fase de sacolas, considerando a hipótese que substratos um pouco mais grosseiros podem apresentar condução de água satisfatória com aeração mais adequada ao tamanho do recipiente.
- Em decorrência do maior estresse hídrico encontrado na folha ao meio dia, a aplicação de duas irrigações diárias pode, ainda, melhorar a resposta das plantas à irrigação.
- O substrato fino de fibra de coco possui melhor relação entre porosidade e retenção de água, e não foi testado com mudas a campo, o que faz necessário estudo comparativo com plântulas irrigadas por capilaridade em substratos de casca de pinus objetivando redução de ciclo.
- Estudar a mútua concentração de sais (com especiação química) na água e no substrato para definir o momento de descarte da água em sistemas fechados.
- O emprego de sistemas temporizados de aplicação de água com medição automática de volumes percolados das bandejas pode facilitar o manejo diário e incorporam maior quantidade de dados ao experimento.
- Avaliar o consumo da água com base em informações climatológicas e otimizar a quantidade de irrigações sobre este sistema é importante para reduzir a quantidade de irrigações.
- É fundamental se desenvolver sistemas de irrigação por capilaridade mais baratos,

fáceis de limpar, resistentes e com nivelamento automático da água de irrigação.

- É imprescindível avaliar os parâmetros abordados no presente trabalho e, ainda assumir as recomendações supracitadas em outras espécies de citros, tanto para porta-enxertos como suas combinações de parte aérea nas fases subseqüentes.

Embora os resultados encontrados no presente trabalho sejam positivos e promissores, constata-se a necessidade de mais trabalhos científicos e técnicos para viabilizar criteriosamente a difusão da técnica de irrigação por capilaridade em viveiros de citros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

Almeida, E.L.P. **Sistema de produção de mudas cítricas em viveiros protegidos do Estado de São Paulo**. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdades de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

Almeida, P.L., Lopes, P.S.N., Ramos, J.D., Antunes, L.E.C., Hoffman, A. Crescimento de mudas do limoeiro “cravo” em função da adubação em cobertura e foliar. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 14, 1996, Curitiba, **Anais...**Londrina: IAPAR, 1996.

Bachmann, J., Hoton, R., Grant, S.A., van der Ploeg, R.R. Temperature dependence of water retention curves for wettable and water repellent soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.66, n.1, p.44-52, jan-feb, 2002.

Bernadi, A.C.C., Carmello, Q.A.C., Carvalho, S.A. Containerized citrus nursery tree production and nutrient levels in response to NPK fertilization. In: Proceedings of the International Society of Citriculture, Orlando, p.424-425, 2000.

Boaventura, P.S.R., **Demanda por nutrientes de mudas cítricas produzidas em substrato em ambiente protegido**. 62f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônomo, Campinas, 2003.

Boaventura, P.R.R., Quaggio, J.A., Abreu, M.F., Bataglia, O.C. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal., v.6, n.2, p.300-305, Agosto, 2004.

Buck, J.W. Use of electrolyzed oxidizing water for managing diseases of greenhouse crops. *Phytopatology*, St Paul, v.93, n.6, June (Supplement), 2003.

Caser, D.V., Camargo, A.M.M.P., Bueno, C.R.F., Camargo, F.P., Ângelo, J.A., Olivette, M.P.A. Francisco, V.L.F.S. Previsões e estimativas das safras agrícolas do estado de São Paulo, ano agrícola 2008/2009, 4o levantamento agrícola Abril de 2009. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.7, p.76-97, julho, 2009.

Coordenadoria de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo. Portaria CDA-5, 2005.

Dole, J.M., Cole, J.C., von Broembsen, S.L. Growth of Poinsettias, nutrient Leaching, and water-use efficiency respond to irrigation methods. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.29, n.8, august, 1994.

English, M.J., Solomon, K.H., Hoffman, G.J. A paradigm shift in irrigation management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**: Reston, v.128, n.5, p.267-277, September-October, 2002.

Esporti, M.D.D. e Siqueira, D.L. Doses de uréia no crescimento de porta-enxertos de citros

produzido em recipientes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.1, Abril. p.136-139, 2004.

Faita, E. Ochatt, S.J., Calvar, J.L., Covatta, F., Herrero, J.. Nursery fertilization and growth responses of citrus rootstocks. In: Proceedings of the International Society of Citriculture. São Paulo, 1984. P.156-159.

Fermino, M.H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: Encontro Nacional de substratos pra plantas, 3, 2002, Campinas. (org.) Furlani, A.M.C., Bataglia, Abreu, M.F., Abreu, C.A., Furlani, P.R. Quaggio, J.A., Minami, K. **Caracterização manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 119p., p.29-38, 2002.

Fernandes, C. e Corá, J.E. Densidade e relação ar/água de substratos hortícolas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.4, p.446-450, 2004.

Francescato, R.D.C. **Influência de frequência de irrigação, substrato e adubo de liberação lenta na produção de porta-enxerto cítrico limão cravo (Citrus limonia Osbeck)**. 98 f. Dissertação (mestrado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

Fundecitrus. Manual de viveiros, 2005a.  
<[www.fundecitrus.com.br/manuais/fundec\\_manual\\_viveiros.pdf](http://www.fundecitrus.com.br/manuais/fundec_manual_viveiros.pdf)> Fundecitrus,  
[www.fundecitrus.com.br](http://www.fundecitrus.com.br) acessado em 15/04/2005a.

Fundecitrus. Doenças e pragas, 2005. <[www.fundecitrus.com.br](http://www.fundecitrus.com.br)> acessado em 15/04/2005b.

Geneve, R.L., Kester, S.T., Buxton, J.W. Capillary mats alter the water content in medium during mist propagation of dendrathema. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.39, n.3, June, 2004.

Gervásio, E.S. **Efeito das lâminas de irrigação e doses de condicionador de solo, associadas a diferentes tamanhos de tubetes, na produção de mudas de cafeeiro**. 105 f. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

Goebel, M.O., Bachmann, J., Woche, S.K., Fisher, W.R., Horton, R., Water potential and aggregate size effects on contact angle and surface energy. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.68, p.383-393, march-april, 2004.

Guilardi, A.A., Maia, M.L., Amaro, A.A. De Negri, J.D. Mudanças nas técnicas adotadas e impactos no uso de fatores de produção na citricultura paulista nos anos 90. 2002. <[www.iea.sp.gov.br/artigos](http://www.iea.sp.gov.br/artigos)>, acesso em 12/05/2005.

Haley, T.B. and Reed, D.W. Optimum potassium concentrations in recirculating subirrigation for selected greenhouse crops. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.39, n.6, October, 2004.

Hausbeck, M.K. and Lamour, K.H. Phytophthora capsici on vegetable Crops: Research Progress and Management Challenges. **Plant Disease**, St. Paul, v.88, n.12, December, 2004.

Kahlow, M.A. and Azam, M. Effect of saline drainage effluent on soil health and crop yield. **Agricultural Water Management**, Oxford, V.62, p.127-138, 2003.

Millar, A.A. **Drenagem de terras agrícolas**: bases agronômicas. São Paulo: Editerra Editorial Ltda., 1988.

Million, J.B., Barrett, J.E., Nell, T.A., Clark, D.G. Inhibiting growth of flowering crops with ancymidol and paclobutrazol in subirrigation water. **American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.34, n.6, October, 1999.

Milner, L. Manejo de irrigação e fertirrigação em substratos. In: Encontro Nacional de substratos para plantas, 3, 2002, Campinas. (org) Furlani, A.M.C., Bataglia, Abreu, M.F., Abreu, C.A., Furlani, P.R. Quaggio, J.A. Minami, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 119 p., p.45-2, 2002.

Neves, E.M., Rodrigues, L., Dragone, D.S., Dayoub, M. Citricultura: Geração de divisas e formação de renda no plano real. **Laranja**, Cordeirópolis, v.24, n.2, p.253-266, 2003.

Oster, J.D. and Wichelns, D. Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. **Irrigation Science**, Heildenberg, v.22, n.3-4, p.107-120, 2003.

Perin, J.R., Carvalho, S.A., Mattos Júnior, D., Doses de fertilizantes de liberação controlada no desenvolvimento vegetativo do limoeiro “cravo” em tubetes com diferentes substratos. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 14, 1996, Curitiba, **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996.

Perin, J.R., Carvalho, S.A., Mattos Jr., Cantarella, H. Efeitos de substratos e doses de fertilizante de liberação lenta no teor de clorofila e desenvolvimento vegetativo do limoeiro “cravo” em tubetes. **Laranja**, Cordeirópolis, v.20, n.2, p.463-476, 1999.

Pino, F.A. Análise preliminar de um senso agropecuário: Projeto LUPA no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.7, p. 67 – 75, julho, 2009.

Porter, L.D. and Johnson, D.A. Survival of Phytophthora infestans in surface water. **Phytopatology**, St. Paul, v.94, n.4, April, 2004.

Richards, D.L. and Reed, D.W. The effect of irrigation method, water-soluble fertilization, preplant nutrient charge and surface evaporation on early vegetative and root growth of poisetia. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.39, n.2, April, 2004.

Salvador, C.A. **Sistema de irrigação por capilaridade na produção de porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira**. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2010.

Soares, T.M. **Desenvolvimento de três porta-enxertos cítricos utilizando águas salinas**. 94

f. Dissertação (mestrado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

Sobrinho, J.T. Propagação dos citros. In: \_\_\_\_\_ Citricultura brasileira. Rodrigues, O, Viégas, F. Pompeu Jr., J. Amaro, A.S. 1991. p. 281-301.

Toshiaki, A.M., Higashiura, M., Yokoyama, T. Okubo, H., Nakagawa, H., Kajihara, A. Spatial distribution of ions in groundwater under agricultural land. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.130, n.6, November-December, 2004.

Tsunechiro, A., Coelho, P.J., Caser, D.V., Amaral, A.M.P., Bueno, C.R.F., Ghobril, C.N., Pinatti, E. Valor da produção agropecuária do estado de São Paulo em 2007. **Informações Econômicas**, v.38, n.4, p.78-89, 2008a.

Tsunechiro, A., Coelho, P.J., Caser, D.V., Bueno, C.R.F., Pinatti, E. Valor da produção agropecuária do estado de São Paulo em 2008: estimativa preliminar. **Informações Econômicas**, v.38, n.10, p. 80-90, outubro, 2008b.

Uva, W.F.L., Weiler, T.C., Milligan, R.A. Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation system in greenhouse operations in the northeast and north central United States. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.36, n.1, February, 2001.

Verdial, M.F., Iwata, A.Y., Lima, M.S., Tessarioli Neto, J. Influência do sistema “floating” no condicionamento do crescimento de mudas de pimentão (*Capsicum annum* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, n.1, Janeiro/Abril, 1998.

Vivecitrus. **Informativo Vivecitrus** – Associação Paulista de Viveiros Certificados de Citros. Ano 02, n.5, Março, 2002.

Vivecitrus. **Informativo Vivecitrus** – Associação Paulista de Viveiros Certificados de Citros. Ano 02, n. 11, Dezembro, 2003.

Weerts, A.H., Freijer, J.I., Bouten, W. Modeling the gas diffusion coefficient in analogy to electrical conductivity using a capillary model. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.64, n.2, p.527-532, 2000.

Wichelns, D. New policies are need to encourage improvements in irrigation management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.130, n.4, September/October, p.366-401, 2004.